

**UNIVERSIDADE DO EXTREMO SUL CATARINENSE - UNESC**  
**CURSO DE CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO**

**LUIZ VERISSIMO DA SILVA DE SOUZA**

**SIMULAÇÃO DE OPERAÇÃO DO TÚNEL DE VENTO UNESC**

**CRICIÚMA**

**2018**

**LUIZ VERISSIMO DA SILVA DE SOUZA**

**SIMULAÇÃO DE OPERAÇÃO DO TÚNEL DE VENTO UNESC**

Projeto de Pesquisa do Trabalho de Conclusão de Curso em Ciência da Computação da Universidade do Extremo Sul Catarinense, UNESC.

Orientador: Prof. MSc Paulo João Martins  
Coorientador: Prof. MSc Anderson Jose Antonietti

**CRICIÚMA**

**2018**

**LUIZ VERISSIMO DA SILVA DE SOUZA**

**SIMULAÇÃO DE OPERAÇÃO DO TÚNEL DE VENTO UNESC**

Trabalho de Conclusão de Curso aprovado pela Banca Examinadora para obtenção do Grau de Bacharel, no Curso de Ciência da Computação da Universidade do Extremo Sul Catarinense, UNESC, com Linha de Pesquisa em Simulação.

Criciúma, 28 de Junho de 2018.

**BANCA EXAMINADORA**



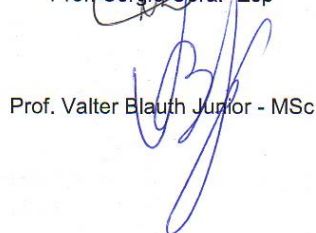
Prof. Paulo João Martins - MSc - Orientador



Prof. Anderson José Antonietti - MSc - Coorientador



Prof. Sergio Coral - Esp



Prof. Valter Blauth Junior - MSc

**Dedico este trabalho a minha família que  
sempre esteve ao meu lado em todos os  
momentos.**

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente a Deus que se mostrou presente em todo o trabalho, depois aos meus pais e minha avó que tornaram tudo isso possível. A quatro pessoas que foram cruciais no desenvolvimento do projeto Anderson José, Gélío Junior, Gabriel e Rafael Guglielmi. E por fim a três amigos que estiveram muito presentes em horas difíceis: Hiago Dalmolin, Ramon Maciel e Maiquel Martins.

## RESUMO

O túnel de vento é um equipamento que permite a realização de ensaios sob condições controladas, medindo características físico-mecânicas dos protótipos, em contato com o vento. A utilização dessa ferramenta em períodos pré-estipulados de uso, unindo-o a softwares e modelos matemáticos, fornece-nos resultados aproximados para várias áreas de estudos da mecânica, tornando a sua utilização totalmente acessível. A Universidade do Extremo Sul Catarinense (UNESC) inaugurou no dia 22 de fevereiro de 2017 no Parque Científico e Tecnológico (IPARQUE) um túnel de vento que poderá permitir a análise de sensores para obter pressões, forças, torques, velocidades, acelerações e ruídos nos modelos. Esse trabalho apresenta o desenvolvimento de um simulador de túnel de vento usando o motor gráfico Unity 3D, baseado no túnel de vento da UNESC, para o entendimento de como funciona a sua operação. Na seção de teste foi utilizado o sistema de partícula do motor para simular a fumaça que foi o fluido escolhido para a visualização do vento. Para um melhor entendimento do túnel foram criados dois menus: o primeiro para explicar como o túnel funciona e quais são as equações extraídas dele, e o segundo com os resultados obtidos em relação à velocidade do vento controlada pelo potenciômetro.

**Palavras-chave:** Túnel de Vento, Unity 3D, Simulação, Mecânica dos Fluidos, C#.

## ABSTRACT

Wind Tunnel is tool to perform tests in controlled conditions, measuring the physics and mechanical characteristics of the air moving past solid objects. The using of this tool in predetermined periods, joining it with mathematical software and models, provides us with approximate results for several areas of mechanics studies. Making its fully accessible for the Universidade do Extremo Sul Catarinense (UNESC). UNESC's wind tunnel began on 22 February, 2017 at Parque Científico e Tecnológico (IPARQUE), which allowed analysis of sensors to obtain pressure, force, torque, speed and acceleration of models. This paper presents the development of a wind tunnel simulator using the engine Unity 3D, based on Real UNESC's wind tunnel, understanding how the wind tunnel should be operated. In the test section, the engine particle system was used to simulate the smoke that was the fluid chosen for the viewing of the wind. Two pop-ups have been created on the simulator for a better understanding itself: the first pop-up to explain how the tunnel works and what are the equations extracted from it, and the second with the results obtained in relation to the wind speed controlled by the potentiometer.

**Keywords:** Wind Tunnel, Unity 3D, Simulation, Fluid mechanics, C#.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Maneiras de estudar um sistema .....	12
Figura 2 – Túnel de vento de circuito aberto .....	24
Figura 3 – Túnel de vento de circuito fechado.....	25
Figura 2 – Espectro de Motores Gráficos .....	29
Figura 4 – Criando um projeto.....	31
Figura 5 – Estrutura de pasta da Unity.....	31
Figura 6 – Layout 2 por 3 .....	32
Figura 7 – Layout Wide .....	33
Figura 8 – Visualização de cena .....	34
Figura 9 – Visualização do projeto .....	35
Figura 10 – Visualização dos objetos do projeto .....	36
Figura 11 – Visualização da inspeção dos objetos.....	36
Figura 12 – Ferramenta de transformação .....	37
Figura 13 – Câmera .....	38
Figura 14 – Modelo 3D do Túnel de Vento em SolidWorks.....	47
Figura 15 – Fluxograma para importação de um modelo SolidWorks na Unity.....	47
Figura 16 – Funcionalidade suprimir no SolidWorks .....	48
Figura 17 – Exportando um arquivo stl.....	48
Figura 18 – Exportando um arquivo obj. ....	49
Figura 19 – Importando .obj na Unity .....	50
Figura 20 – Túnel de vento na Unity .....	50
Figura 21 – Código potenciômetro. ....	52
Figura 22 – Código potenciômetro. ....	52
Figura 23 – Fumaça no Túnel .....	53
Figura 24 – Sistema de partículas da fumaça. ....	54
Figura 25 – Código de funcionamento da fumaça.....	54
Figura 26 – Colisores do Túnel de Vento. ....	56
Figura 27 – Painéis do simulador.....	57
Figura 28 – Implementação dos cálculos. ....	58
Figura 29 – Código de exportação dos resultados do simulador em planilha. ....	59
Figura 30 – Resultados gerado na planilha.....	60
Figura 31 – Protótipo do carro em teste. ....	60



Figura 32 – Protótipo do aerofólio em teste.....60

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 – Motores de Jogos com suas linguagens e recursos pela sua curva de aprendizado – 2015.....	30
------------------------------------------------------------------------------------------------------	----

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

ABP	Aprendizagem Baseada em Problemas
CAD	Computer-aided design
CFD	Computational fluid dynamic
GNA	Gerador de números aleatórios
NASA	National Aeronautics e Space Administrations
STA	Estereolitografia
IDE	Integrated Development Environment

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>6</b>
1.1 OBJETIVO GERAL .....	6
1.2 OBJETIVO ESPECIFICO .....	7
1.3 JUSTIFICATIVA .....	7
1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO .....	8
<b>2 SIMULAÇÃO.....</b>	<b>9</b>
2.1 OBJETO DE ESTUDO .....	10
2.2 MODALIDADES .....	14
2.2 APLICAÇÃO .....	14
2.2 SIMULADORES EXISTENTES .....	15
2.3 SIMULADORES DIDÁTICOS.....	16
<b>3 TÚNEIS DE VENTO .....</b>	<b>18</b>
3.1 HISTÓRICO DO TÚNEL DE VENTO .....	18
3.2 TIPOS DE TÚNEIS DE VENTO .....	22
<b>3.2.1 Regime de tempo .....</b>	<b>22</b>
<b>3.2.2 Geometria do túnel.....</b>	<b>23</b>
<b>3.2.3 Tipo de fluído.....</b>	<b>26</b>
<b>4. MOTORES GRÁFICOS .....</b>	<b>27</b>
4.1 HISTORIA DOS MOTORES GRÁFICOS .....	27
4.2 ALGUNS MOTORES GRÁFICOS NA ATUALIDADE .....	28
4.3 UNITY.....	29
4.4 FUNCIONAMENTO DA UNITY 3D .....	30
<b>4.4.1 Projetos .....</b>	<b>30</b>
<b>4.4.2 Layouts.....</b>	<b>32</b>
<b>4.4.3 Views .....</b>	<b>33</b>
<b>4.4.4 Ferramentas de Modificação .....</b>	<b>37</b>
<b>4.4.5 Câmeras .....</b>	<b>37</b>
<b>4.4.6 Polígonos, Arestas, Vértices e Malhas .....</b>	<b>38</b>
<b>4.4.7 Materiais, Texturas e Sombreadores .....</b>	<b>39</b>
<b>4.4.8 Física de Corpos Rígidos e Colisões.....</b>	<b>39</b>
<b>4.4.9 Sistema de Partículas .....</b>	<b>40</b>
<b>5 TRABALHOS CORRELATOS.....</b>	<b>42</b>

5.1.1 Wind tunnel simulation and evaluation of soil conservation function of alpine grassland in Qinghai–Tibet Plateau .....	42
5.1.2 Túnel de Vento da FAUUSP - Instrumento para ensaios de modelos físicos em conforto ambiental .....	42
5.1.3 Simulação de elevação do nível do mar na cidade de Joinville (SC).....	43
5.1.4 Um novo conjunto de regras para simulação de tráfego e criação de vias utilizando autômatos celulares .....	44
<b>6 SIMULAÇÃO DE PRÉ-OPERAÇÃO DO TÚNEL DE VENTO UNESC .....</b>	<b>45</b>
6.1 METODOLOGIA.....	45
6.2 PROCESSO DE SIMULAÇÃO. ....	46
6.3 INTERAÇÕES ENTRE FERRAMENTAS 3D PARA IMPORTAÇÃO DO TUNEL DE VENTO NA UNITY. ....	46
6.4 FUNCIONAMENTO DO TÚNEL NA UNITY.....	51
6.4.1 Potenciômetro, Exaustor .....	51
6.4.2 Sistemas de Partículas e Colisores .....	53
6.4.4 Painéis.....	56
6.4.4.1 Cálculos .....	57
<b>7 CONCLUSÃO .....</b>	<b>62</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>64</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Atualmente vivemos em um meio que os processos mercantis e institucionais atingiram graus elevados de complexidade e são deverás dinâmicos, assim os envolvidos neste âmbito devem conciliar estes a aprendizagem para obterem resultados satisfatórios.(SENGE, 2014)

A simulação é o processo de transpor um modelo real para o meio digital e conduzir experimentos com este modelo com o objetivo de entender seu comportamento e/ou avaliar estratégias do seu comportamento. Sendo assim a simulação é um processo mais amplo, compreendendo não somente a construção do modelo, mas todo o método experimental que se segue. (FREITAS, P. J. F., 2001)

O túnel de vento é um projeto que permiti a realização de ensaios sob condições controladas, medindo características físico-mecânicas dos protótipos, em contato com o vento. Apesar do custo do ensaio, e a sofisticação necessárias das maquetes, unindo a demanda do trabalho frequentes torna inviável a utilização desse instrumento para as instituições. Todavia a utilização dessa ferramenta em períodos pré-estipulados de uso, unindo-o a softwares e modelos matemáticos, fornece-nos resultados aproximados para várias áreas de estudos da mecânica, tornando a sua utilização totalmente acessível.(UZUELI; SHIMOMURA; DUARTE, 2008)

A Universidade do Extremo Sul Catarinense (UNESC) inaugurou no dia 22 de fevereiro de 2017 no Parque Científico e Tecnológico (IPARQUE) um túnel de vento que poderá permitir a análise de sensores para obter pressões, forças, torques, velocidades, acelerações e ruídos nos modelos. A disponibilidade de um equipamento deste porte na região sul trará inúmeros benefícios para as instituições de ensino e empresas, pois diferentes estudos e desenvolvimentos poderão ser realizados com ele. (UNESC, 2017).

### 1.1 OBJETIVO GERAL

Desenvolver um simulador de operação para manipulação e visualização física e matemática envolvidas no túnel de vento.

## 1.2 OBJETIVO ESPECIFICO

- a) Compreender como funciona um túnel de vento e quais são seus principais pontos geradores de dificuldades no aprendizado;
- b) Entender e utilizar o ambiente para desenvolvimento de jogos e simulação Unity;
- c) Aplicar os conhecimentos no túnel de vento para criá-lo em meio virtual e expor visualmente resultados físicos que ocorreram no objeto estudado dentro dele;
- d) Realizar testes com o modelo para validar resultados gerados.

## 1.3 JUSTIFICATIVA

Os jogos e simuladores são considerados alternativas eficientes para a visualização de sistemas reais em meio digital, pois estes permitem um amplo campo de experimentação mostrando o produto de suas ações, sem danos prejudiciais em um ambiente controlado e próximo ao real. Provendo a simplificação de elementos cotidianos e os inserindo em meio acadêmico. (SCHRAMM, F. K.; FORMOSO, C. T., 2007)

Os túneis de vento são dispositivos que produzem de forma controlada um fluxo de ar, com isso permite-se a observação do comportamento do vento ao passar por um objeto. Esses se dividem em túneis de circuito aberto ou fechado, e pela velocidade de escoamento que podem ser subsônicos, transônicos ou supersônicos. O túnel de vento da UNESC é do tipo aberto com escoamentos em velocidade subsônica que compreendem os escoamentos com valores de *Mach* menores que 0.8. (HALL, 2015)

Contudo este trabalho visa desenvolver um simulador para em conjunto com a equipe que desenvolveu o túnel de vento da UNESC, melhorar a visualização e o entendimento do processo de execução do túnel para alunos do curso de engenharia mecânica, e as teorias e cálculos físicos para extração dos melhores resultados para os projetos e protótipos ali desenvolvidos.

## 1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

O presente trabalho será apresentado na seguinte estrutura, o segundo capítulo abordará sobre o que é simulação e suas definições, sua aplicação e os simuladores existentes hoje que são disponibilizados.

No terceiro capítulo contará toda a história que nos levou para a existência do túnel de vento atual, como estes funcionam e se classificam.

No quarto capítulo mostrará o que são motores gráficos e quais existem atualmente, e porque a Unity foi a melhor escolha para o projeto. E ao deste como esse motor gráfico funciona.

No quinto capítulo serão apresentados trabalhos similares a este para mostrar o que está sendo pesquisado na área do projeto.

No sexto será apresentado como foi feito o simulador e como o mesmo funciona.

E por fim será finalizado mostrando como os objetivos foram alcançados, e quais as dificuldades do projeto.



## 2 SIMULAÇÃO

A simulação pode ser compreendida como a utilização de técnicas matemáticas aplicadas em um computador, que imitam o funcionamento da maioria dos processos ou operações de um sistema real. (FREITAS, P. J. F., 2001)

Com o início da computação começou-se a ter um campo mais amplo para as possibilidades da simulação, e portanto pode-se dizer que a ela é uma extensa coleção de aplicações e métodos que imitam um comportamento em um sistema real, normalmente em um computador com um software adequado. E essa amplitude contempla desde cruzamentos de dados de uma indústria projetando possíveis acontecimentos até cálculos precisos para aerodinâmicas de carros de alta performance. (KELTON, 2002)

Na sua essência pode-se interpreta-la como dar a aparência de uma coisa para outra, exemplificando em meio computacional a criação de *softwares* que aparentam modelos reais virtualmente. Mesmo a simulação sendo uma constituição própria, só faz sentido para desenvolvedores e usuários pela existência do modelo real. Porém a sua semelhança não deve ser apenas a nível de aparência, mas também apresentar o mesmo conceito e efeito que o simulado. (BARTON, 1973)

Com a simulação pode-se representar objetos que não foram criados ainda, e dependendo da viabilidade da implementação consegue-se torna-los reais, jogos espaciais ou aeronaves em túneis de vento são exemplos disso. Obtendo assim uma grande vantagem que é analisar um modelo de diferentes formas, gerando assim novas possibilidades de aplicação ou abordagem para o estudo. Permitindo o estudo do fenômeno de forma indireta, em caso que maneiras diretas tem recursos indisponíveis, são muitos custosas ou arriscadas. (ROVERI, 2004)

Existe uma linha tênue entre o conceito de simulação e simulador, em um ponto de vista mais limitado concebe-se que um simulador é uma máquina, um programa ou um equipamento que objetiva aumentar as habilidades pessoais para o que está sendo proposto, em circunstancias hipotéticas e controladas. Já numa análise mais profunda, nota-se que o simulador é a diferença do ambiente físico e sócio-político, primordial para alcançar o objetivo do treinamento. É feito para representar uma situação real, porém na construção omite-se determinados aspectos da real situação. (RAMOS, 1991)

Para modelistas a maior dificuldade encontrada é responder a duas questões “Qual deveria ser o escopo do modelo?” e “Que nível de detalhe deve ser considerado”. Para primeira pergunta deve-se considerar que os fatores que tenham um efeito mais significativo no comportamento do modelo. Já a segunda resposta se deve analisar o que não é simulação, analisando conceitos de Bateman que expressa, a simulação não é uma artifício no qual emula a realidade na qual o modelista almeja alcançar, e a réplica exata do sistema. Mesmo havendo meios computacionais para controlar uma grande quantia de aspectos encontrado em cada elemento, em função do tempo e o seu valor não vale para os resultados obtidos. Todavia há aqueles que ainda são vítimas da modelação de objetos irrelevantes, o perfeccionismo de querer incluir até os mínimos detalhes. E este ainda ressalta que com o crescimento tecnológico tornou o uso de modelos mais aplicado ao dia-a-dia. No entanto, existem maneiras mais eficientes para gerenciamento do chão de fábrica (BATEMAN et al., 1997)

## 2.1 OBJETO DE ESTUDO

A simulação imita vários tipos de operações do mundo real que são realizadas através de processos, nesse contexto de estudo são chamados de sistema, nos estudos científicos frequentemente se faz suposições de como algo funciona, elas são formadas por cálculos matemáticos ou associações lógicas, constituindo assim um modelo que é usado para obter algum conhecimento de como o sistema se comporta. Esses modelos podem ser simples a um nível de serem expressos via cálculos, álgebra ou probabilidade obtendo assim a informação exata sobre a questão de interesse, isso é chamado de solução analítica. Porém no mundo real os sistemas são muito complexos e necessitam de modelos realísticos para análises dos cálculos, assim só sendo viáveis por análises computadorizadas. (LAW; KELTON; KELTON, 1991)

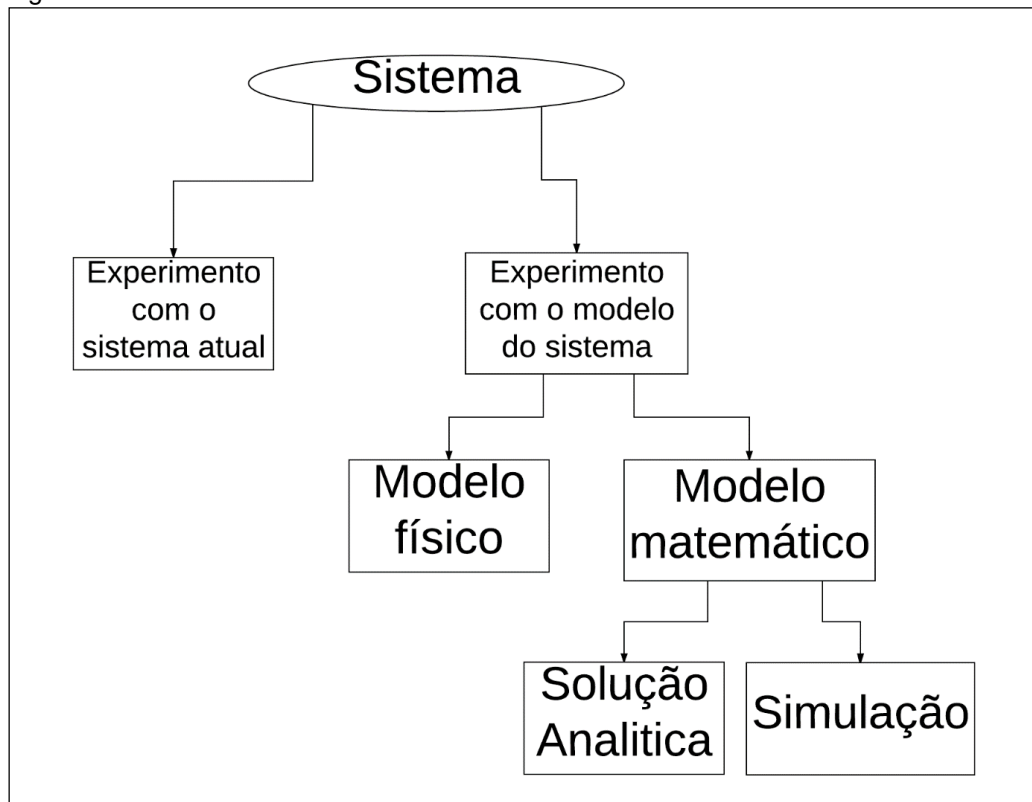
Um sistema pode ser definido como um conjunto de entidades, pessoas ou máquinas, que agem ou interagem juntas para um mesmo fim lógico. Na prática, isso vai depender dos estudos de cada tipo em particular do sistema. Também uma coleção de entidades que compõe um sistema, pode ser uma parte micro de outro sistema macro. Por exemplo, se um estudo que objetiva encontrar o número correto de caixas bancários que uma agência bancária necessita para prover um atendimento

adequado para os clientes que irão tirar extrato e fazer depósitos. O sistema pode ser definido entre a relação dos atendentes de caixas e os clientes que aguardam em fila para serem atendidos, porém se esses clientes puderem incluir atividades como fazer um financiamento, esse estudo obviamente vai ter que ser expandido pelo fato de outras entidades estarem envolvidas no processo. O estado de um sistema é definido como um conjunto de variáveis necessárias para descrever o sistema em um determinado tempo relativo ao objetivo do estudo. No caso do exemplo do banco, um estado poderia ser o número de caixas ocupados, o número dos clientes no banco ou o tempo que um cliente leva desde de que chegou para ser atendido. (LAW et al., 1991)

Um sistema pode ser categorizado em dois tipos, discreto e contínuo. Um sistema discreto é quando uma variável muda instantaneamente em pontos separados de tempo. O banco é um exemplo de sistema discreto, pois o número de pessoas no banco, quando a pessoa entra essa variável vai receber mais um, e toda vez que uma pessoa sai, recalcula esta variável, assim toda vez que entra e sai pessoas do banco esse valor é automaticamente redefinido com valores inteiro instantaneamente quando o evento ocorre. Um sistema contínuo é aquele que as variáveis se modificam continuamente em relação ao tempo, um exemplo é o avião voando no ar as variáveis de velocidade e localização mudam constantemente. Existem sistemas totalmente contínuo ou discreto, porém na grande maioria os sistemas tem uma união dos dois tipos. (LAW et al., 1991)

Uma maneira interessante de se entender profundamente algo que se estuda é criando um mapa de possibilidades do que está sendo estudado, pois é possível analisar as relações entre os componentes. Assim, abaixo é apresentado na representação de mapa diferentes maneiras que um sistema pode ser estudado.

Figura 1 – Maneiras de estudar um sistema



Fonte: Law (2000).

Quando é possível trabalhar com o sistema real, e seu custo é efetivo para deixá-lo operando e aberto a possibilidades de implementações em paralelo, é o ideal a se fazer. Todavia isso é raro de acontecer, porque na maioria dos casos os estudos envolvem um custo alto ou é muito disruptivo do sistema, tornando a substituição inviável ou incerta. Por exemplo, um banco tem o objetivo de diminuir o número de caixas de atendimento para cortar gastos, se isso for feito diretamente no sistema real, o banco corre o risco de gerar longas filas de espera e o custo da insatisfação do cliente pode ser um preço alto a se pagar. Também temos os casos em que os sistemas podem não existir ainda ou não foram expostos a outros ambientes. Exemplos, uma nova forma de rede de Internet ou uma nova estratégia de geração de energia nuclear. Por essas razões, deve-se fazer um modelo para representar o sistema e estudar como ele se comporta trabalhando no lugar do sistema real. Todavia essa abordagem gera dúvidas sobre a acurácia do modelo e sobre as decisões tomadas sobre os resultados obtidos com o modelo. (LAW et al., 1991)

A palavra modelo pode lembrar carros em miniatura em um túnel de vento, uma cabine de piloto fora dos aviões para os pilotos treinarem o voo, ou um super

tanque em movimento de baixo de uma piscina. Esses são exemplos de modelos físicos que não são típicos em pesquisas operacionais e análises de sistemas. Entretanto são construídos com o intuito de ajudarem nos estudos de engenharia e sistemas regulamentadores. Na vasta maioria os modelos são feitos com propósitos matemáticos para a representação de um sistema em termos lógicos e quantitativos. Essas relações manipuladas e modificadas refletem resultados visíveis na reação do modelo ou como ele poderia reagir. Um exemplo simples seria o modelo matemático que relaciona:

$$d = vt$$

$v$  é a velocidade média da viagem,  $t$  é o tempo gasto viajando e  $d$  é a distância viajada. Esse pode ser um modelo valido para uma sonda espacial que contempla uma viagem de um planeta a outro, todavia não é valido para casos como trânsitos congestionados em horários de pico. (LAW et al., 1991)

Quando se cria um modelo matemático, este deve ser examinado como poderá responder as perguntas do sistema, ao qual ele supostamente representa. Se o modelo é simples o suficiente, poderá trabalhar com relacionamentos e quantidades para obter valores exatos. Por exemplo na solução analítica da função representada a cima, se os valores de distância percorrida e velocidade já são conhecidos pode-se obter o valor de  $t$  com a relação

$$t = \frac{d}{v}$$

Essa análise é muito simples pode ser feita com lápis e papel, todavia uma solução analítica pode ser imensamente complexa precisando de um vasto recurso computacional, um exemplo de algo que seria muito difícil fazer a mão, e com recursos computacionais é feito rapidamente, é inverter uma grande matriz não diagonal, então se a solução analítica pelo um modelo matemático é viável e computacionalmente eficiente, é melhor fazer o estudo deste modo, porém a maioria dos sistemas são altamente complexos, e validar isso matematicamente torna-se inviável. Nesse caso o mais indicado é fazer o estudo via simulação, numericamente aplicando no modelo entradas e analisando o efeito das saídas medindo a performance. (LAW et al., 1991)

## 2.2 MODALIDADES

Quando há um modelo matemático a ser estudado, se define o quais partes podem estar presentes na simulação, existe classificações que auxiliam nessa análise. Sendo que estas se dividem em três dimensões:

**Modelos estáticos e dinâmicos:** Modelos estáticos é a representação do sistema em um tempo particular ou em um momento em que represente o sistema onde simplesmente está acontecendo sem nenhuma regra para a escolha desse momento. Um exemplo é o método de Monte Carlo que faz uma análise de risco através da geração artificial de dados empregando um gerador de números aleatórios (GNA) e uma distribuição de frequência da variável de interesse. Nos modelos dinâmicos os valores de saída tem relação com os valores de entrada, assim a análise tem que ser feita em relação a todo o tempo. (FREITAS, P. J. F., 2001)

**Modelos Determinísticos e probabilísticos:** um modelo determinístico não tem nenhum componente probabilístico, existindo através dos diferenciais entre formulas como em equações de reações químicas, em modelos determinísticos uma saída é estabelecida e todo o conjunto de entrada e de relações possíveis dessas deve-se ser especificada, tomando assim a maior parte do tempo do processamento computacional para encontrar esse valores. Porém alguns sistemas tem um conjunto de variáveis aleatórias, deste modo é necessário usar o modelo probabilístico, sistemas que na maioria adotam esse modelo são os que usam a teoria de fila e sistemas de inventário que produzem saídas randômicas, devendo estas serem tratadas com uma estimativa da probabilidade da verdade dos valores encontrados no modelo. Essa é a maior desvantagem desse método é ter que lidar com os ricos. (LAW et al., 1991)

**Modelos contínuos e discretos:** um modelo continuo é aquele cuja a variável muda seu valor no campo dos nos números reais [... -3; -2,5; -1, 0, +12; +1; +1,8; +2 ...]. Já os modelos discretos as variáveis ficam no âmbito dos números finitos e enumeráveis

## 2.2 APLICAÇÃO

A simulação pode ser aplicada em vários contextos, todavia com a disponibilidade de computadores com processamentos mais robusto, popularizou-se

a simulação digital. Com a possibilidade de criar-se ambientes semelhantes ao real, esse recurso está sendo utilizado para treinamentos e fins didáticos. Em 2012 o mercado do treinamento via simulação movimentou 2.4 bilhões de investimentos, e a expectativa é alcançar 6.7 bilhões em 2017. Junto a isso, muitas áreas de estudo de negócios continuam usando processos de simulação MBA com o propósito de ensinamento, assim fornece-se uma única e consolidada instrução. Existem uma infinidade de tipos de simulação, e muitos autores tem desenvolvido métodos para fazer os estudantes crescerem intelectualmente e aperfeiçoar as técnicas já existentes. Recentemente foi desenvolvido uma integração com elementos do vídeo game dentro da simulação, impulsionando assim os *serious games* e o movimento da gameficação. (HOWARD, 2017)

O campo da simulação é vasto e permite que se planeje negócios, pode ter cunho matemático, quantitativo, computacional e participação ativa de pessoas em uma situação previamente elaborada.

Aplicações da simulação são colocadas em diversas áreas, abaixo temos uma lista que cita algumas delas:

- a) Análise financeira ou sistemas econômicos
- b) Calcular aerodinâmicas de veículos, com: avião, carros, barcos e outros
- c) Ensino em meios corporativos e escolares
- d) Determinar requerimentos de hardware para jogos ou sistemas operacionais

## 2.2 SIMULADORES EXISTENTES

*Autodesk Flow Design* é um software comercial da empresa *AutoDesk* que auxilia no entendimento inicial do design de protótipos, criado em janeiro 2014. Baseado na tecnologia *Computational fluid dynamic* (CFD) obtida do *Blue Ridge Numerics* um outro software da empresa, o protótipo foi mostrado primeiramente para o laboratório da *AutoDesk* cujo o nome era *Falcon*, isso em meados de 2012. Esse software não foi apenas desenvolvido para usuários tradicionais, como equipes de desenvolvimento aéreo e automotivo, mas também para arquitetos, não apenas para usuário de CFD, e para uso em escolas já que consegue mostrar como o ar se comporta de maneira prática. (AUTODESK, 2014)

Glenn Research: Com um intuito de promover o autodidatismo e aprender fazendo na prática usando o método Aprendizagem Baseada em Problemas (ABP) na ciência e na matemática, a *National Aeronautics e Space Administrations* (NASA) desenvolveu uma série de programas de computadores interativos para estudantes. Todos os programas são feitos na linguagem Java usando a tecnologia de Applet para serem rodados nos navegadores, os programas são de domínio público e estão constantemente sendo revisados e atualizados. Junto aos programas é disponibilizado uma série de guias para iniciantes que acompanha cada pacote de software explicando a parte científica e matemática por de traz do programa. E para os professores tem mais de 200 atividades para validar o aprendizado dos alunos. Entre os programas há programas tipo o FoilSim III que computa a teoria de *Lift to Drag* para várias formas de aerofólios, o usuário pode controlar a forma o tamanho e a inclinação do aerofólio na atmosfera. (NASA, 2014a)

The 3D Virtual Wind Tunnel é um software comercial para análise de turbulência que importa arquivos de estereolitografia (SLA), SLA é uma das tecnologias de fabricação aditiva para a criação de modelos de conceito e matrizes, no formato padrão do Computer-aided design (CAD) baseada na superfície de triangulação, o software roda um fluido viscoso, compressível nas extremidades modelando a camada para resolver a alta taxa de Reynold em caminhos de intensa turbulência. (MICROCFD, 2017)

HyperWorks Virtual Wind é um software comercial focado em cálculos aerodinâmicos externos usando fluidos dinâmicos computacionais para resoluções de propósito geral para elementos finitos, baseados em resoluções de fluxo fornecendo relatórios de dados de mudança em tempo real com acurácia e robustez. Sua arquitetura é para execução paralela e sistemas de memória distribuída de computadores. (ALTAIR, 2013)

## 2.3 SIMULADORES DIDÁTICOS

Simuladores podem ser utilizados nas mais diversas áreas do conhecimento, sendo de importante ajuda no treinamento de pessoas tanto em âmbito acadêmico como industrial, pois evitam desperdícios direta e indiretamente, e também ajudam a prevenir acidentes em ambientes não seguros. Em meios industriais auxiliam na redução de custos, tempo e riscos em procedimentos de mudança de processos industriais. Permitindo experimentações de ações de forma segura,



econômica e rápida com grande similaridade do modelo real. Nas entidades de ensino, como universidades ou escolas técnicas especializadas, onde é difícil ou elevado o custo da aquisição de um equipamento, os simuladores tem papel importante. (FERREIRA et al., 2014)

Em estudos feitos na área da Andragogia, a ciência de ensino para adulto, apresentam resultados que comprovam que alunos adultos retém 10% do conteúdo que ouvem, após 72 horas. Todavia são capazes de lembrar 85% do que ouvem, vêm executam, depois das mesmas 72 horas.(BELLAN, 2005)

Com o avanço computacional, formas de representação digitais foram introduzidas no meio pedagógico para ajudar as formas tradicionais de ensino como: lousa e giz. Apresentações multimídias, lousa digital e aulas práticas que se aproximam da realidade, se tornaram mais comuns fazendo com que os alunos absorvessem mais conteúdo. O uso da simulação é uma outra forma de ensino que permite emular o processo produtivo, assim pode-se aumentar a produtividade e a retenção do conhecimento. (DEPEXE et al., 2006)

A simulação e os jogos digitais são eficientes formas de aprendizado, pois proporciona modos alternativos de execução podendo analisar suas consequências, em ambiente seguro e próximo ao real, com a facilidade de simplificar elementos diários e coloca-los no meio escolar. (SCHRAMM, F.; FORMOSO, C., 2007)

Diversos benefícios são tirados em se usar a simulação no ensino entre os quais: a possibilidade de representação da complexidade de um sistema e produção, a comparação de projetos, medir diferentes resultados de políticas de desempenhos de sistemas, adquirir as competências necessárias onde o conhecimento atual não é suficiente, estimular melhor capacidade crítica e cognitivas e agregar a execução do aprendizado. (SATOLO, 2011)

### 3 TÚNEIS DE VENTO

Túneis de vento são tubos no qual o vento percorre o interior, com o intuito criar um ambiente propício para simulação de ações que um protótipo aerodinâmico executa em contato com ar. Engenheiros e cientistas utilizam desse recurso para analisar o comportamento de aeronaves, veículos terrestres, espaciais ou marítimos. Alguns modelos de túneis de vento são tão grandes que permitem os testes de protótipos aéreos em escalas reais. No entanto quando não se tem um túnel desse porte para conseguir emular ambiente bem próximo ao real, o objeto a ser testado é confeccionado em uma escala menor. Para execução dos testes os modelos ficam fixos em uma posição no túnel de vento e um fluido se movimenta ao redor dele, fazendo parecer que ele realmente está voando. (NASA, 2017)

Os testes realizados em túneis de vento são elementos fundamentais para a compreensão do funcionamento aerodinâmico de estruturas de protótipos. Consegue-se simular em menor escala em um âmbito controlado o comportamento do objeto analisado ao ser tangido por um fluido, assim é avaliado uma série de fatores como: determinação das forças de arrasto e sustentação, momentos, distribuições de temperatura e pressão, e de outras características adicionais ao projeto de vários tipos de mecanismos. (NASA, 2017; SARAN et al., 2003; SINGH; PODDAR, 2008)

#### 3.1 HISTÓRICO DO TÚNEL DE VENTO

Por volta do século XIX tinha-se um interesse muito grande para conseguir construir uma máquina que proporcionasse ao ser humano voar, os estudiosos da época analisavam os voos dos pássaros e começaram a fazer os primeiros protótipos de estruturas de aviões, mas esses projetos baseados em pássaros falharam miseravelmente. Bom então eles perceberam que não sabiam nada sobre como se elevar e manipular o vento de uma maneira que este pudesse se manter no ar na atmosfera, notaram então que para voar o homem precisava primeiro entender o ar e como esse tangia as superfícies. Então após estudos em laboratórios foram construindo as partes que são necessárias para fazer um protótipo voar como: asas, fuselagem e outros. Tudo sendo avaliado em condições controladas sendo tudo calculado, todavia o túnel de vento só foi concebido 30 anos depois do primeiro protótipo conseguir voar de fato construído em Kitty Hawk pelos irmãos Wright. Apesar

dos braseiros reivindicarem que o primeiro protótipo a voar foi criado por Alberto Santos-Dumont, na verdade os irmãos já tinha conseguido esse feito 3 anos antes, porém Santos Dummont fez o primeiro voo público e seu protótipo era mais sofisticado, pois portava rodas e deu sua partida do chão usando um motor enquanto os americanos usaram uma catapulta para dar propulsão inicial, a grande discórdia pela patente se dá justamente por estas duas maneiras com que foi dada as partidas iniciais no protótipos. (CROUCH, 2013; NASA, 2014b)

Hoje a utilização do túnel de vento é óbvia, mas nos primórdios dos testes aeronáuticos não eram bem assim, no princípio precisava-se de um modelo que se mantivesse a estabilidade, e controlasse o fluxo de ar. Para buscar a estabilidade dos protótipos no ar remeteram-se a Leonardo da Vinci e Isaac Newton, segundo estes para melhorar o movimento do protótipo pelo ar precisaria de velocidade ou poderiam flutuar o modelo passando por uma estrutura estática. As duas abordagens foram empregadas nos primórdios da aeronáutica. (NASA, 2014)

Foram realizadas incisivas pesquisas sobre a origem da regularidade dos ventos, os modelos eram montados em cima das montanhas ou nas bocas das cavernas que tinham um grande fluxo de vento. Porém a incontrollabilidade da natureza forçou os estudiosos a formar várias estratégias mecânicas para se manterem estáveis pelo ar. A maneira mais simples e barata era movimentar o protótipo com velocidade, com o ar formando de maneira ordenada movimentos centrífugos. (GREEN; QUEST, 2011; JOHNSON, 2000;2001; NEW WORLD ENCYCLOPEDIA, 2013)

O engenheiro militar inglês Benjamin Robins (1707-1751) era também um matemático brilhante sendo o primeiro a construir um braço giratório, uma estrutura usada nos primeiros testes de avião, que tinha um braço de 1,5 metros com uma corda prendendo o protótipo ao eixo de uma estrutura giratória e assim ao movimentar-se o protótipo se movimentava junto, este modelo alcançava a velocidade de 1 km por hora. Robins testou várias estruturas várias estruturas para a ponta do braço, girando-a em diferentes orientações. Ele concluiu que todas as teorias sobre resistência até então eram extremamente defeituosas. Diferentes formas apresentavam a mesma área de fluxo de ar, mas nem sempre tinham mesma resistência ou força de arrasto. A complexa manifestação da relação entre o arrasto, forma, orientação e a velocidade do vento contradisseram a simples teoria de Newton que embasava os primeiros

estudos da ciência aeronáutica. (GREEN; QUEST, 2011; JOHNSON, 2000;2001; NASA, 2014b; NEW WORLD ENCYCLOPEDIA, 2013)

Sir George Cayley (1773-1857) também usou o braço giratório para testar vários aerofólios para mensurar o processo de elevação e a força de arrasto exercida sobre os mesmos. O braço giratório construído por ele alcançava velocidades de até 21 quilômetros por hora, e isso o proporcionou criar um pequeno planador em 1804 que acreditasse ser o primeiro a obter sucesso em um protótipo metálico que carregava um humano pelos ares. Em 1852 este tinha o projeto de um planador triplano que já incorporava várias funcionalidades das modernas estruturas de aviões tripulados, apesar destes só funcionarem meio século depois. Cayley foi muito importante na história, pois rompeu um paradigma da época após realizar muitos experimentos e projetar aviões precoces, ele criou uma nova filosofia no design dos dirigíveis aéreos. (ACKROYD, 2002; GREEN; QUEST, 2011; NASA, 2014b; NEW WORLD ENCYCLOPEDIA, 2013)

Antes de Cayley acreditava-se que o sistema de propulsão que é a força para subir e a movimentação para frente exercida pelo protótipo deveriam ser gerados juntos como os pássaros e os helicópteros fazem, porém ele disse que se fizer uma superfície larga, como longos braços, ela poderá se suportar na resistência do ar. Explicando de outra maneira a propulsão pode ser dividida deixando o motor para gerar a força para manter o protótipo seguindo em frente e as asas para fazê-lo subir e se manter no ar. Esse pensamento pode parecer simples, mas foi muito revolucionário para época, pois foi deixado de se fazer projetos aeronáuticos que imitavam o bater de asas dos pássaros. (ACKROYD, 2002; GREEN; QUEST, 2011; MCCOMMONS, 2017; NASA, 2014b; NEW WORLD ENCYCLOPEDIA, 2013)

O braço giratório foi a ferramenta para testes aerodinâmicos mais aderida até o final do século XIX, isso teve más influências para as análises da época, pois o braço fazia movimentos turbulentos ao redor do eixo giratório e isso atrapalhava no voo do protótipo no fim do braço, porque não era possível mensurar com exatidão e relação da velocidade do modelo analisado e o ar, assim com os modelos criados até então era muito difícil montar e mensurar pequenas forças exercidas nos modelos sobre altas velocidades, então precisava de algo melhor fosse construído. A melhor opção encontrada foi o túnel de vento, pois é um dispositivo simples e de fácil entendimento que consiste na passagem do ar em um local fechado onde o ar é gerado por um ventilador outro dispositivo gerador de vento, a parte principal do túnel

é a secção de teste onde é feita uma escala do modelo é suporta minucioso controle do fluxo do ar, assim gerar um corrente de ar sobre o protótipo assim aproximando do que ocorre no projeto real. (NASA, 2014b)

Frank H. Wenham (1824-1908) era um cônsul e membro da *Aeronautical Society of Great Britain*, detendo os créditos por projetar e pôr em pratica o primeiro túnel de vento em 1871, nos seus primeiros experimentos aerodinâmicos, Wenham tentou usar o braço giratório, mas essas infelizes experiências o levou a arrecadar fundos para construir um túnel de vento. Ele o construiu com um tronco de árvore este primeiro que ficou com o tamanho em média de aproximadamente 3 metros e meio da largura e 45 centímetros da altura com um ventilador movido por um motor a vapor na ponta do mesmo para conduzir o ar por essa estrutura. Frank montou vários modelos de túnel de vento mensurando as forças de sustentação e de arrasto que eram criadas com a passagem do ar, essas medidas apesar de aparecerem de uma maneira simples, esses resultados foram um grande avanço para a aeronáutica. (NASA, 2014b)

Nos seus estudos Wenham e seus colegas descobriram que baixos ângulos de incidência nas superfícies conseguiam taxas de levantamento por arrasto poderiam trabalhar entre 5 a 15 graus de ângulo de ataque. As teorias aerodinâmicas de newton não eram tão otimistas. Com altas taxas de levantamento por arrasto, as asas poderiam carregar cargas substanciais com mais sucesso que anteriormente. Com essas pesquisas conseguiu-se criar planadores com asas mais curtas e se levar em consideração esse aspecto da taxa. Por esses motivos já valiam a pena arrecadação de fundos feita por Wenham. (NASA, 2014b)

No clássico experimento em que Osborne Reynolds (1842-1912) na universidade de Manchester, comprovou-se que o padrão do fluxo do vento passando sobre o protótipo em menor escala, pode ser o mesmo em tamanho real se os parâmetros forem os mesmo em ambos os casos. Esse fator agora é conhecido como número de Reynolds é um parâmetro básico para descrever situações de movimentos de fluidos, incluindo formas de movimentos padrão, transferência de calor e início de turbulência. (LAUNDER, 2014; NASA, 2014b; REYNOLDS, 1883)

### 3.2 TIPOS DE TÚNEIS DE VENTO

Engenheiros e cientistas que trabalham com aerodinâmica, utilizam o túnel de vento para testar os protótipos, onde dependendo do propósito do mesmo, estes precisam ser cuidadosos no controle das condições do fluxo do ar e dos efeitos que as forças causam sobre o projeto real, para serem feitas medidas minuciosas do modelo. Assim os engenheiros podem fazer previsões do modelo em escala real, também usando diagnósticos técnicos especiais eles podem entender melhor como tudo ocorre e melhorar o desempenho do projeto aerodinâmico.

Os túneis de vento são projetados para propósitos específicos e por variação de velocidade do vento, por esta razão existem muitos tipos de túneis de vento e diversas maneiras de classificá-los. A seguir serão apresentados alguns tipos de túneis de vento e suas características.

#### 3.2.1 Regime de tempo

Os túneis de vento são geralmente classificados pela velocidade que o ar passa na sessão de testes em relação à velocidade do som, e a taxa da velocidade do ar pelo som é chamada de número de Mach que compreende pela relação entre eles descrita na equação abaixo, onde  $M$  é o valor de Mach,  $V_o$  é a velocidade do objeto e  $V_s$  é a velocidade média do som. (HALL, 2015)

$$M = \frac{V_o}{V_s}$$

Com o número de Mach podemos classificar os túneis de vento em subsônicos que compreendem em valores menores que 0.8, transônicos com valores entre 0.8 e 1.2, supersônicos que variam de 1.2 e 5, e por fim os hipersônicos que são quaisquer valores acima de 5. O valor de Mach é muito importante, pois esse será levado em conta nas análises de compressão, é expresso na função abaixo onde  $M$  é o número de Mach,  $V$  é a velocidade e  $\Delta V$  é a variação da velocidade,  $D_f$  é a densidade do fluido e  $\Delta D_f$  é a variação da densidade do fluido:

$$\frac{-M^2 \cdot \Delta V}{V} = \frac{\Delta D_f}{D_f}$$

Para voos subsônicos onde o número de Mach é menor que um, a raiz quadrada é muito pequena e como esses protótipos trabalham em pouca velocidade a velocidade

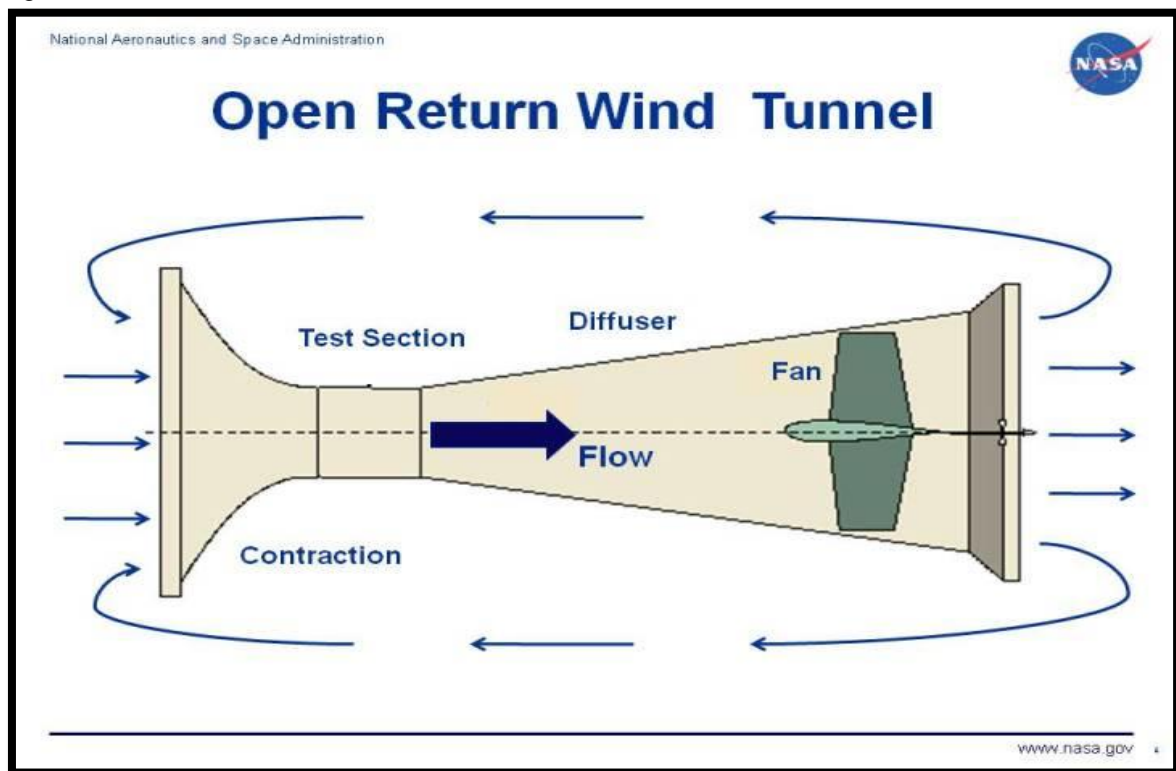
também é baixa, e no outro lado da equação tanto o valor da variação quanto da densidade dos fluidos são pequenas assim os valores de compressão para esses tipos de análises pode ser ignorado. Em análises transônicas onde o valor de Mach são iguais ou próximo a sua raiz continua igual ou próximo a 1, assim os valores de densidade são parecidos com os da velocidade, logo os efeitos de compressão não podem ser ignorados. Para as análises onde as velocidade são maiores que a velocidade do som e o coeficiente de Mach é maior que 1, onde esses voos são intitulados supersônicos e hipersônicos a densidade muda mais rápido que a velocidade por isso na equação na igualdade o valor de Mach é ao quadrado, e quanto mais aumenta o valor de Mach mais vai incidir sobre os efeitos de compressão. (HALL, 2015)

### **3.2.2 Geometria do túnel**

Existem duas formas de se classificar a geometria dos túneis de vento que remete a configuração criada para passagem do ar. Elas se denominam a partir do circuito que o vento transita, assim temos os túneis de vento de circuito aberto e fechado que serão abordados a seguir nessa mesma ordem. (CHAVAN et al., 2014; KOLLROSS, 2015)

A Figura 2 mostra um desenho da arquitetura de um túnel de vento de circuito aberto. Esse tipo de túnel de vento também é conhecido como túnel Eiffel ou túnel NPL, pois as primeiras vezes que ele foi desenvolvido por um engenheiro francês e Laboratório nacional de física da Inglaterra. Este modelo tem a área de teste aberta, já o NPL a mesmo lugar é fechado. O túnel de vento original idealizado pelos irmãos Wright era deste mesmo modelo de circuito aberto. Em um túnel de vento de circuito aberto o ar que passa pela seção de teste une-se ao ar de sala no qual ele está localizado, as flechas da figura demonstram o ar que passa pelo túnel e o ar do local onde ele está.

Figura 2 – Túnel de vento de circuito aberto



Fonte: Hall (2015).

Esse modelo tem vantagens e desvantagens sobre o modelo de circuito fechado, por exemplo:

#### Vantagens

- Baixo custo de construção
- Design superior para propulsão e visualização em fumaça. Não há acúmulo na exaustão de produtos em um túnel de vento de circuito aberto.

#### Desvantagens

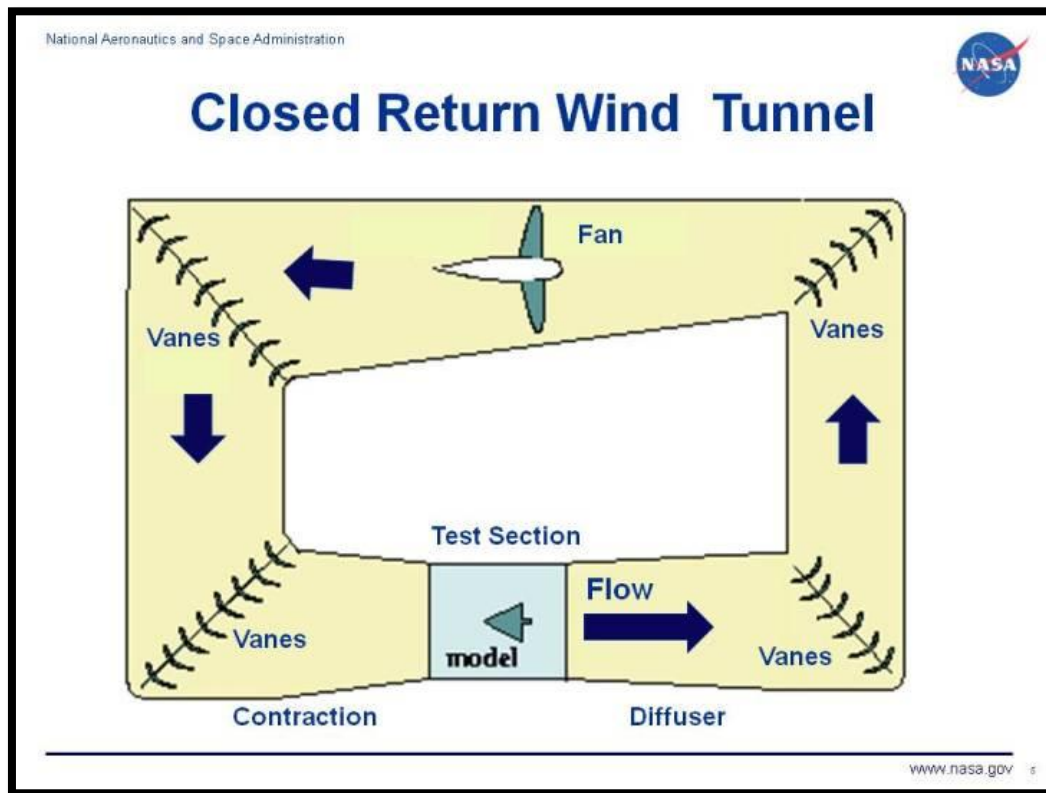
- Pouca qualidade de fluxo de vento na seção de teste.
- Altos custos de operação, o ventilador tem que estar sempre acelerado entre o túnel de vento.
- Barulho na operação.

A Figura 3 mostra um desenho da arquitetura de um túnel de vento de circuito fechado que também é conhecido como Prandtl tunnel ou Gottingen tunnel, pois as primeiras vezes que ele foi desenvolvido por um engenheiro Alemão e em um laboratório de pesquisa da Alemanha. Muitos dos Túneis de vento de pesquisa da



NASA são do modelo de circuito fechado. Neste o modelo, o ar sai da área de contração direto para a área de teste retornando para o ventilador indo para um caminho de tubos, e o mesmo ar volta à parte de contração. As flechas indicam o fluxo do vento dentro do túnel de vento.

Figura 3 – Túnel de vento de circuito fechado



Fonte: Hall (2015).

Esse modelo tem vantagens e desvantagens sobre o modelo de circuito aberto, por exemplo:

#### Vantagens

- A qualidade do vento é superior na área de teste em relação ao de circuito aberto.
- Baixos custos de operação
- Ambiente silencioso em operação em relação ao outro modelo.

#### Desvantagens

- Altos custos de construção, em virtude de serem adicionados mais tubos.

- Condições de operação com temperatura elevada, esse modelo deve ter maneira de transferir o calor.

### **3.2.3 Tipo de fluído**

Os túneis de vento também podem ser classificados pelo tipo de fluido que é usado no túnel. Para maior parte dos testes em túneis de vento de baixa velocidade apenas o ar passa pelo túnel. Para visualizar as ondas de choque em teste de alta velocidade ou em estudo de fluxo de vento em torno de submarinos ou botes, água é o fluído usado nesses casos. Já em túneis hipersônicos facilita o estudo usar nitrogênio ou hélio, de maneira parecida tem sido usado nitrogênio criogênico para altas taxas de Reynolds em testes transônicos de fluxo de vento.

## 4. Motores gráficos

Motores Gráficos são ferramentas que fornecem as funções básicas (desde funções básicas até funções elaboradas) necessárias para construir um jogo virtual de uma forma facilitada. Atualmente estes permitem importar modelos de objetos tanto em 2D quanto em 3D que são gerados por softwares de terceiros como por exemplo: o Blender, 3D Studio Max ou o Maya. Outra função geralmente encontrada nos Motores, é a possibilidade de escrever códigos de forma a gerar ações para personagens ou outros objetos que compõem o cenário. Também são as ferramentas que unificam as funções comuns de desenvolvimento de jogos, exemplo destes são a Unity 3D, Unreal, Game Maker, entre outros. (CREIGHTON, 2010; LAVIERI, 2015; OKITA, 2014)

### 4.1 HISTORIA DOS MOTORES GRÁFICOS

Os motores gráficos têm uma história relativamente pequena em relação a computação, sendo que sua evolução foi rápida. Começando em meados dos anos 90 com o processador 486 que finalmente teve velocidade suficiente para executar os jogos em 3D e sendo acessível as pessoas. Antes disso, existia algo popular o pseudo-3D, que eram imagens 2D desenhadas em moldes geometricamente tridimensionais. A tecnologia 3D real tornou-se disponível para os usuários a pouco tempo. (OKITA, 2014)

Pseudo-3D é o termo usado para designar os jogos que usavam os Sprite 2D que eram desenhados de uma perspectiva 3D e o cenário se modificava a maneira que o personagem mudava de posição. O primeiro jogo a usar essa tecnologia foi o Quake 1 em 1995, essa foi alternativa para conseguirem algo perto do 3D que pudesse ser usado nos processadores da época. (OKITA, 2014)

Quando as placas gráficas chamadas de Graphics Processing Units (GPU) foram disponibilizadas, neste momento houve um facilitador para a criação de jogos em 3D, e estes só funcionavam em computadores que possuem componentes dedicados a melhorar o desempenho, e que possuíam um valor expressivo para aquisição, mas as empresas 3dfx, Nvidia e a Matrox, melhoraram as GPUs de forma a suprir as requisições de qualquer 3D. Na mesma época a Id Software, e Jhon Carmak rapidamente trouxeram à tona a tecnologia de motores gráficos que

introduziram muito conceitos de texturas, sombras e iluminação no Quake 2. Um pouco antes dos computadores possuírem as GPUs dedicadas, e espaço em memória RAM generoso, as ferramentas de edição necessitavam de vários computadores, por um lado, utilizando um computador para cada parte do processo ou associados no processo de compilação. Quando a comunidade dos jogos começou a movimentar o mercado com as ferramentas Unreal 2, o Unreal Editor e o Garry's Mod, assim muitos usuários passaram a fazer customização do tipo "Mod", ou também desenvolvendo seus próprios jogos. (OKITA, 2014)

Atualmente existem vários motores de jogos, cada um atendendo um tipo de empresa ou de desenvolvedores, tudo baseado no foco de cada um, umas mais robustas e complexas e atentem empresas tais como: RockStars Game ou EA Games. E por outro lado, temos as engines que atendem aos projetos *indies*, que são projetos desenvolvidos por uma ou poucas pessoas.

## 4.2 ALGUNS MOTORES GRÁFICOS NA ATUALIDADE

Atualmente existem diversos Motores disponíveis para criação de jogos, cada um com suas especificações convergindo para uma finalidade, tais como Unreal Engine, GameBryo, CryEngine, Unity3D, GameMaker, GameSalad. Aqui o objetivo, não é apresentar de todos os motores, dado a quantidade que existem, mas citar e comentar a cerca de alguns, para exemplificar o mercado.

Unreal Engine é uma plataforma que está a bastante tempo no mercado, foi fabricada pela empresa Épic Games em 1998, este motor utiliza a linguagem C++ para criação dos códigos dentro da plataforma. Que suporta vários seguimentos de dispositivos, exemplos computadores em geral, Playstation, Nintendo Wii, Xbox e Android. É a ferramenta utilizada geralmente pelas grandes empresas de desenvolvimento de games sendo assim ela forneceu recursos para a fabricação de jogos que tiveram um alto índice de compra como Batman: Arkham City, BioShock Infinite e Gears of War.

A Unity 3D é um motor que lançou uma nova tendência no âmbito de ferramentas para criação de jogos, pois ela é robusta que habilita os desenvolvedores a criarem jogos de nível alto de complexidade e qualidade com gráficos tridimensionais ou 2D, mas o seu diferencial é forma como ela aborda a criação de tais jogos. Pois ela, visa a facilidade do desenvolvimento, já que seus usuários são

desenvolvedores autônomos ou pequenos grupos. Sendo assim ela abstrai a complexidade de algumas funções que um jogo deve conter sem perder o seu poder de criação.

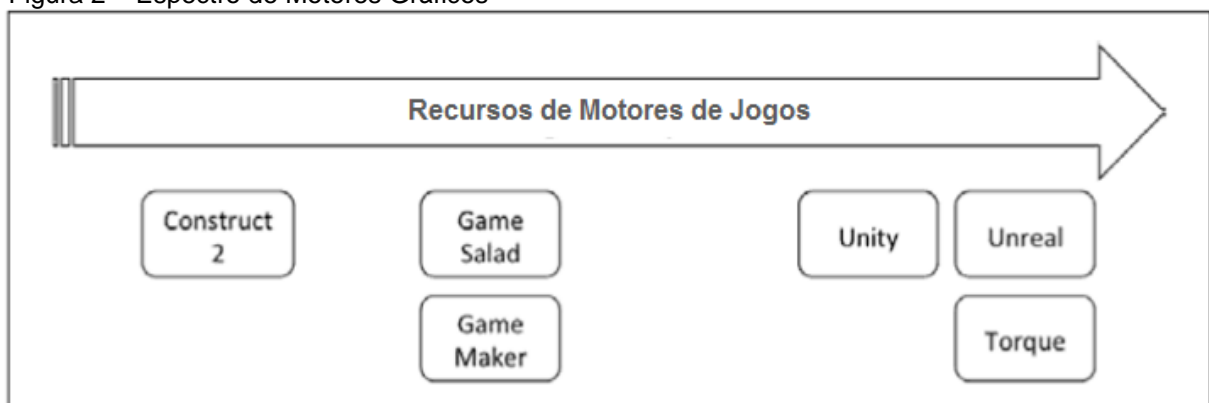
GameMaker é um ambiente de desenvolvimento facilitado para criação de jogos em 2D, seu objetivo é para o ensino ou para os iniciantes no ramo, tendo funcionalidades bem interessantes como exemplo o “Drag and Drop” que é a possibilidade de arrastar um componente já preestabelecido pela ferramenta para uma área de criação, podendo arrastar cenário, personagens e customiza-los. Os jogos podem ser desenvolvidos sem nenhuma linha de comando ou poucas linhas com a ferramenta GameMaker’s built-in language (GML).

#### 4.3 UNITY

A Unity se destaca dentre os outros motores e foi a plataforma escolhida para o desenvolvimento do protótipo vigente nesse trabalho, porque ela consegue conciliar uma gama de poderosas funções com um ambiente de desenvolvimento menos complexo comparada aos ambientes, com maior comunidade, disposto no meio como por exemplo a Unreal Engine e a CryEngine.

Se pensa em um espectro de motores de jogos, não podemos deixar a Unity ao lado dos motores de desenvolvimento menos complexos, visto que temos uma diferença gritante entre eles, porém também não podemos igualar a os motores das grandes indústrias pelo fato de sua complexidade para criação dos jogos. Deste modo o espectro dos motores se comportaria deste modo.(LAVIERI, 2015)

Figura 2 – Espectro de Motores Gráficos



Fonte: Sheetal Aute (2015).

Pode avaliar também a Unity com outros motores com a linguagem que cada um utiliza para seu desenvolvimento, com a curva de aprendizado que se tem da linguagem e da plataforma e os seus recursos disponibilizados por estas, tem-se uma tabela assim.

Tabela 1 – Motores de Jogos com suas linguagens e recursos pela sua curva de aprendizado – 2015

Motores Gráficos	Curva de Aprendizado	Linguagens	2D/3D
Unity	4 de 5	C#, JS, Boo	Ambas
Unreal	5 de 5	C++	3D
CryEngine	5 de 5	C++, Lua	Ambas
Game Salad	1 de 5	GML	2D
Construct 2	2 de 5	JS	2D

Fonte: Getting Started with Unity 5

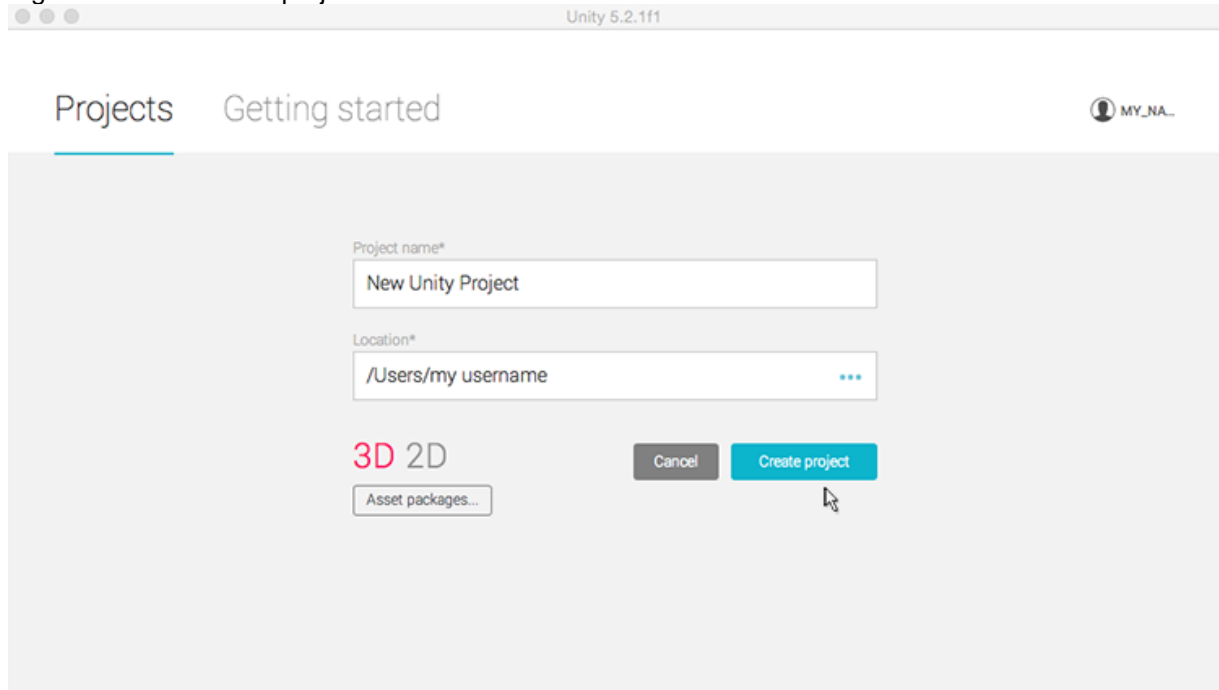
#### 4.4 FUNCIONAMENTO DA UNITY 3D

Para iniciar o desenvolvimento na plataforma deve se inscrever no site <https://unity3d.com/pt/>, baixar o instalador do ambiente e instala-lo, é bem simples o processo, contudo está disponível em <https://unity3d.com/pt/learn/tutorials>, tutoriais de como instalar e iniciar na plataforma e todo o conhecimento necessário para criação de protótipos dos jogos.

##### 4.4.1 Projetos

A primeira etapa de elaboração de um novo protótipo é a criação de um projeto, porque a plataforma necessita de alguns arquivos para conseguir executar as funções para os desenvolvimentos dos protótipos. Ao gerar um projeto é executada um procedimento de criação desses arquivos que são essenciais para a plataforma. Também é a maneira de organizar os projetos, pois dentro deste é criada uma arquitetura organizacional dos arquivos do projeto.

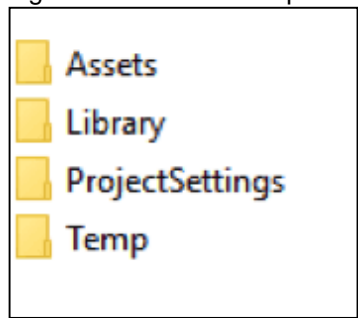
Figura 4 – Criando um projeto



Fonte: Unity (2017)

Para iniciar um projeto precisa informar um nome para o projeto que será o nome do jogo ou a finalidade do protótipo logo a após é necessário indicar onde estará localizado o projeto, por padrão a ferramenta colocará na pasta do usuário do sistema operacional. Pode-se escolher em quantas dimensões o projeto executará se é em 2D ou 3D, todavia a Unity comporta ao longo do projeto suporte para ambas está escolha é apenas para dar foco na implementação. Podem ser incluídos “Asset Packages” que são pacotes com funcionalidades a mais, por exemplo um personagem um objeto 3D ou um cenário, etc.

Figura 5 – Estrutura de pasta da Unity



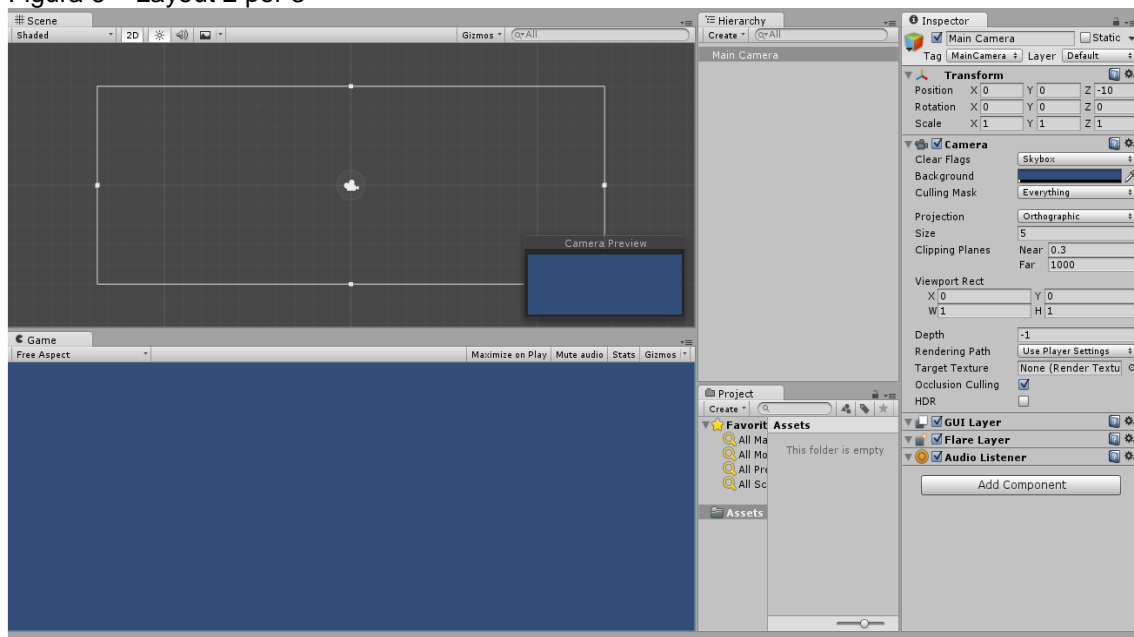
Fonte: Autor (2016)

Após a criação do projeto a plataforma gerará uma estrutura assim para a organização do projeto que estará dentro de uma pasta com o nome que foi definido pelo projeto no caminho escolhido.

#### 4.4.2 Layouts

Um das qualidades da Unity 3D é poder customizar a maneira com que se desenvolve na mesma. Pode-se predefinir os layouts em 2 por 3, 4 Split, Tall, ou Wide ou criar seu próprio layout. Layouts referem-se como os várias views, são pedaços na janela de trabalho que tem uma funcionalidade específica, se comportarão na plataforma, sendo que são organizadas da maneira que fica mais fácil de trabalhar para o usuário. Exemplos de janelas com layouts predefinidos:

Figura 6 – Layout 2 por 3



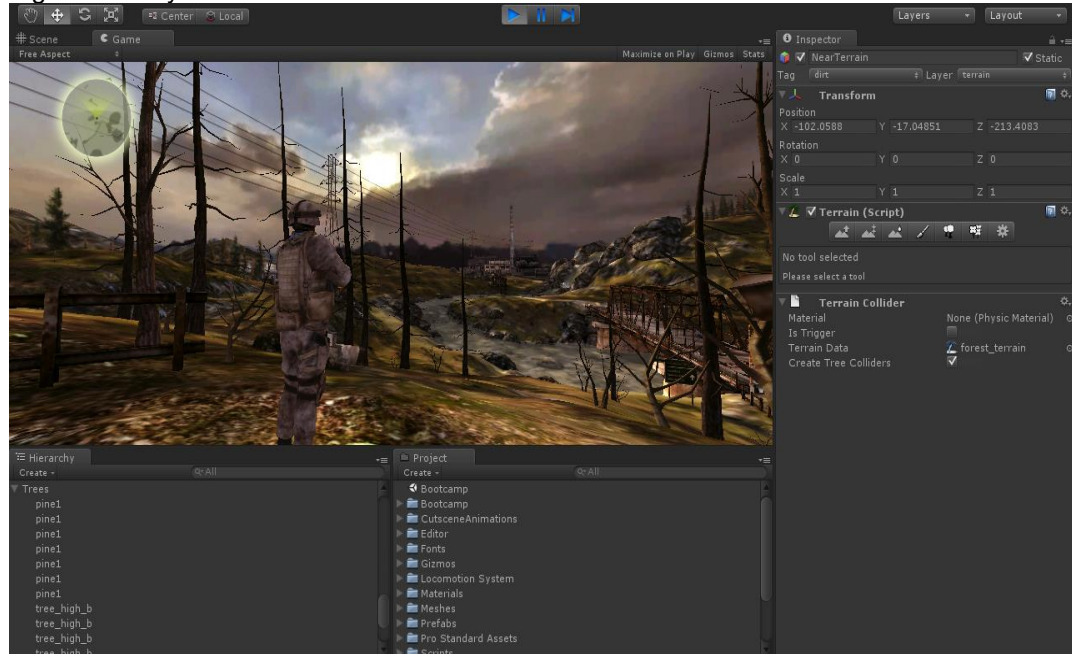
Fonte: Autor (2016)

O nome desse layout é 2 por 3, porque tem duas áreas de visualização do jogo a de “Scene” que é a tela de trabalho dos objetos 3D a de “Game” que é o jogo de fato gerado e as 3 views de configuração. A 4 Split é bem parecida, porém o que muda é que ao invés de ter duas telas para manipulação e exibição do jogo são 4 telas. O modo “Tall” é segue a mesma forma das anteriores, porém a tela de “Scene” ocupa todo espaço dele e da parte de exibição do jogo. Já a “Wide” muda um pouco a



configuração, pois a configuração das views mudam de lugar como pode ver na imagem.

Figura 7 – Layout Wide



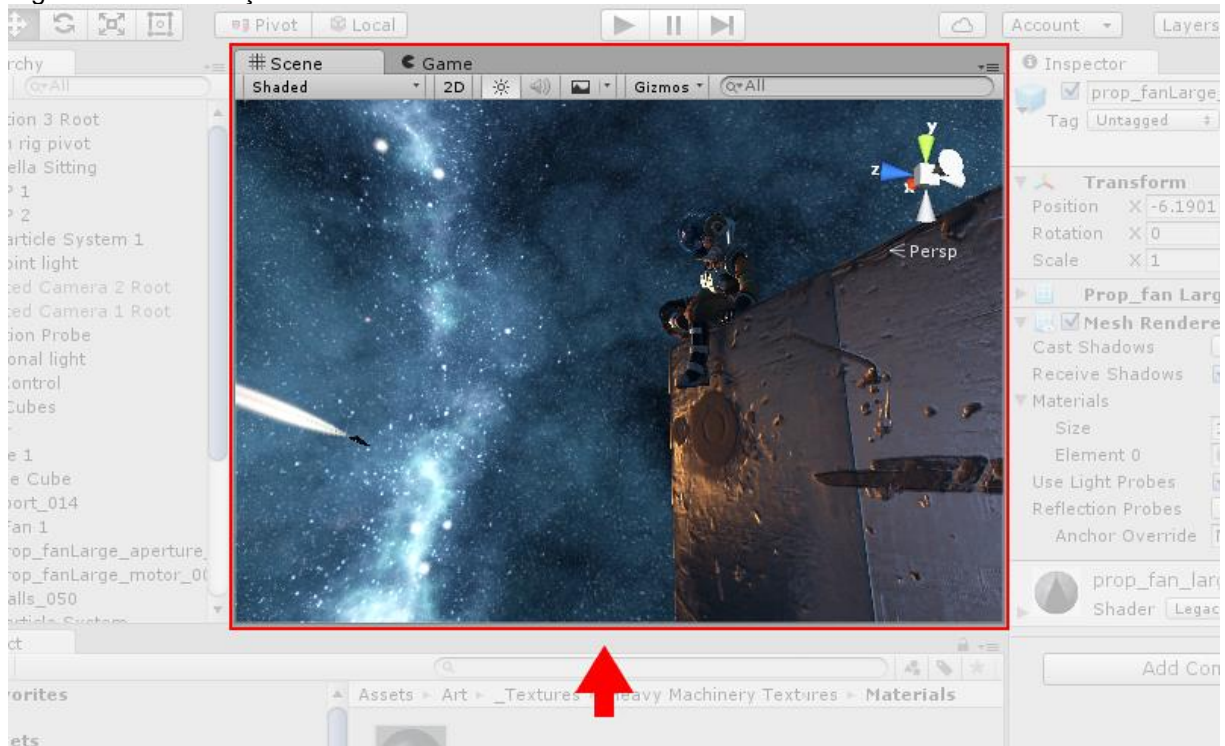
Fonte: Unity (2017).

#### 4.4.3 Views

Unity view é a forma de organização do trabalho na plataforma, onde é possível ver e especificar as propriedades de componentes do projeto. Onde cada uma tem uma funcionalidade dentro do ambiente.

Scene (Cena) na unity é o molde de cada fase do jogo, onde terá várias fases. E nesta parte da ferramenta que é colocado os objetos como por exemplo os personagens, terrenos, componentes de cenário, etc. Pode-se mover esses objetos de lugar, rodar e aumentar e diminuir sua escala.

Figura 8 – Visualização de cena

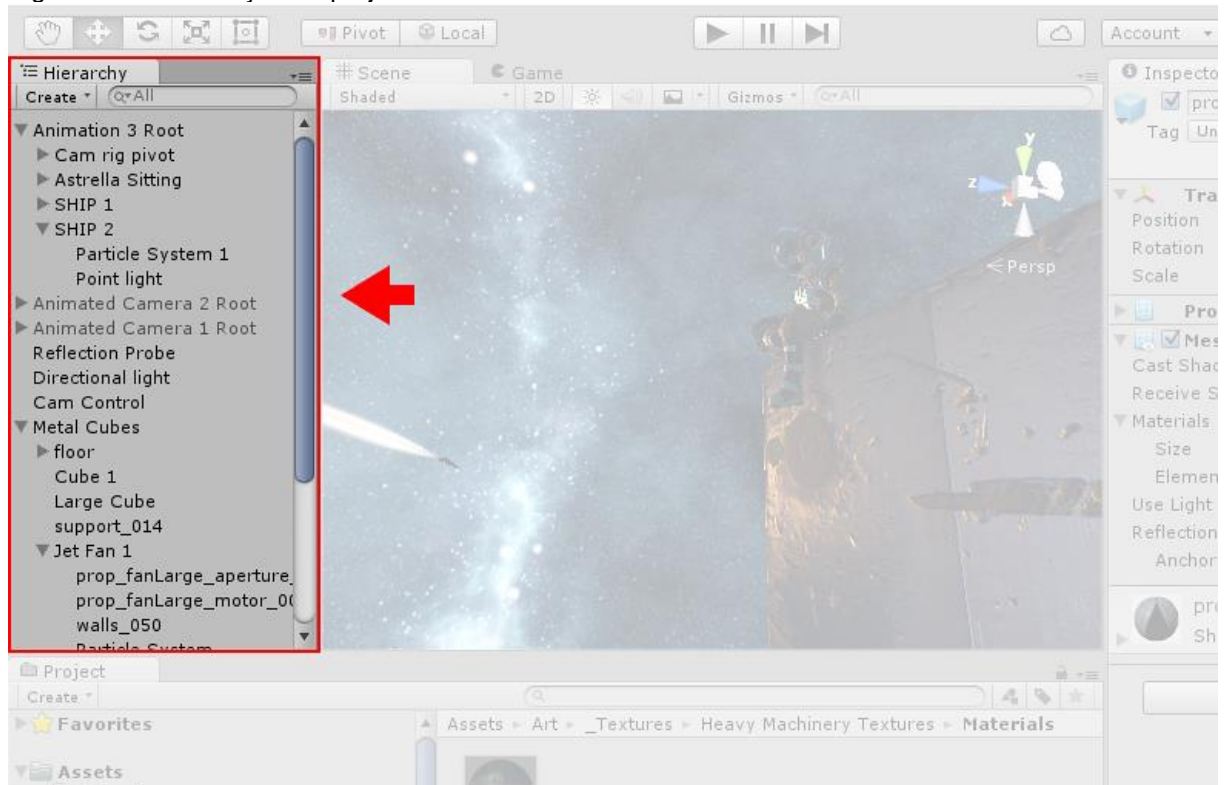


Fonte: Unity (2017)

Uma grande característica da Unity é poder jogar dentro dela isto enquanto desenvolve, isto é, de muita valia, pois não necessita compilar o jogo e jogar fora do ambiente. Apenas salve e está apto para jogar, isto ocorre na Game (jogo) view, e vale ressaltar que qualquer mudança feita no projeto após o jogo rodando refletirá a ação no mesmo, porém não a salvará quase o jogo termina, isto é muito valido para identificar código que venham causar erros no jogo.

Hierarchy (Hierarquia) view lista todos os objetos da cena, caso der um duplo-click no objeto aconteceram duas ações, este será selecionado na Scene View, e na view de inspeção será populada com os dados do objeto, isso agiliza muito no desenvolvimento do projeto.

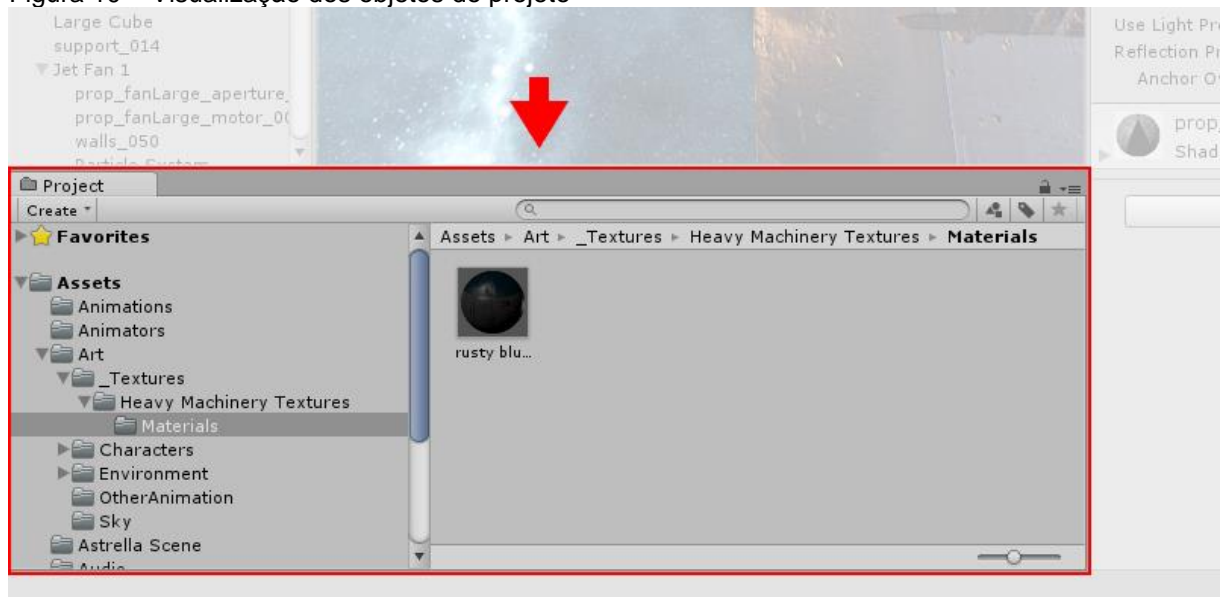
Figura 9 – Visualização do projeto



Fonte: Unity (2017)

Project (Projeto) View se organiza toda a estrutura de arquivos que um projeto comporta, incluindo Objetos, Modelos, códigos, entre outros. Ela se divide em duas partes uma com a estrutura normal do projeto e a outra de favoritos, é muito útil, pois pode-se navegar de uma forma ágil pela estrutura o que seria bem mais lento se fosse feita de outra forma por exemplo pelo sistema operacional. Os favoritos é uma forma de achar os *assets* rápido é muito utilizado em projetos grandes. Outra vantagem desta visualização é que arrastando um objeto para a *view* de cena ele adiciona mais uma instancia daquele objeto ao jogo.

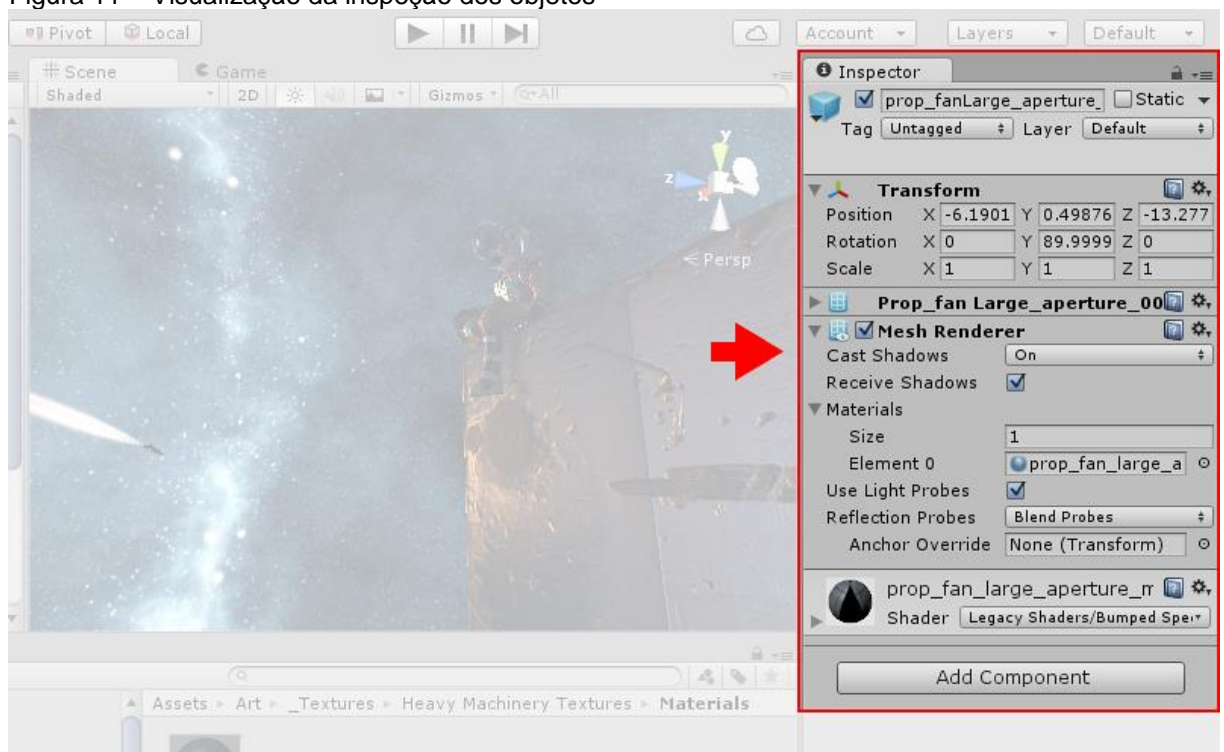
Figura 10 – Visualização dos objetos do projeto



Fonte: Unity (2017)

Os objetos dentro da Unity têm valores de para suas características, por exemplo dados de posicionamento de X e Y ou de tamanho e esses dados podem ser modificado facilmente na view de inspeção e isso reflete simultaneamente na view de cena.

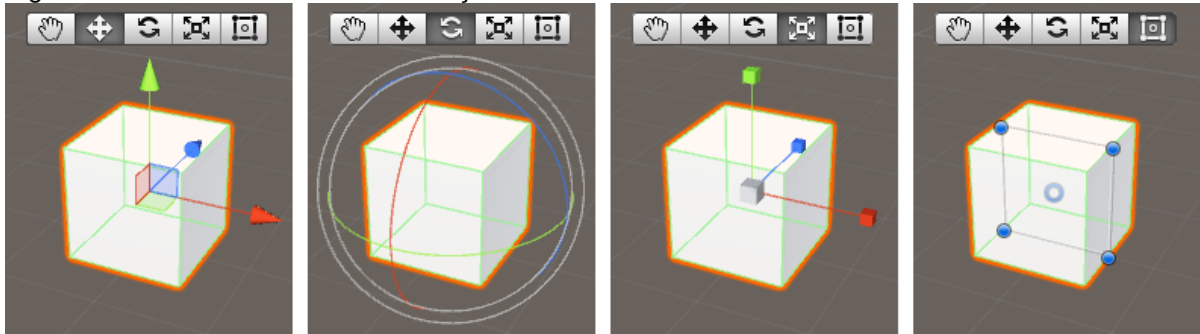
Figura 11 – Visualização da inspeção dos objetos



Fonte: Unity (2017)

#### 4.4.4 Ferramentas de Modificação

Figura 12 – Ferramenta de transformação



Fonte: Unity (2017)

A ferramenta de modificação habilita a interação com Scene view, onde permite editar o terreno, mover objetos e fazer modificações em geral. Nela contém 5 botões que fazem as transformações como mostrado na Figura 11.

O primeiro botão chamado de Hand tool ou View tool, quando esse botão é selecionado, o cursor da Scene view fica com a forma de uma mão, isso é importante, pois informa qual botão está selecionado sem precisar olhar para a barra. Quando essa ferramenta está selecionada a rolagem do mouse modifica o zoom da tela, já o botão esquerdo do mouse habilita a rotação horizontal do objeto. Com o direito pode-se olhar ao redor baseando a posição atual do cursor. O segundo botão é chamado de Translate tool, que habilita a modificar a posição do objeto pelo terreno, mudando as posições para os lados para cima e para baixo, para frente e para atrás. A terceira funcionalidade conhecida como Rotate tool, permite que se mude o eixo do objeto pelas posições (x, y ou z). A quarta funcionalidade da barra é chamada de Scale tool, quando clicada na seta no eixo do objeto ela aumenta o valor do tamanho de (x, y ou z), porém se clicado no centro do objeto esses valores aumentam proporcionalmente. O último botão conhecido como React tool permite que mova, redimensione e mude a rotação.

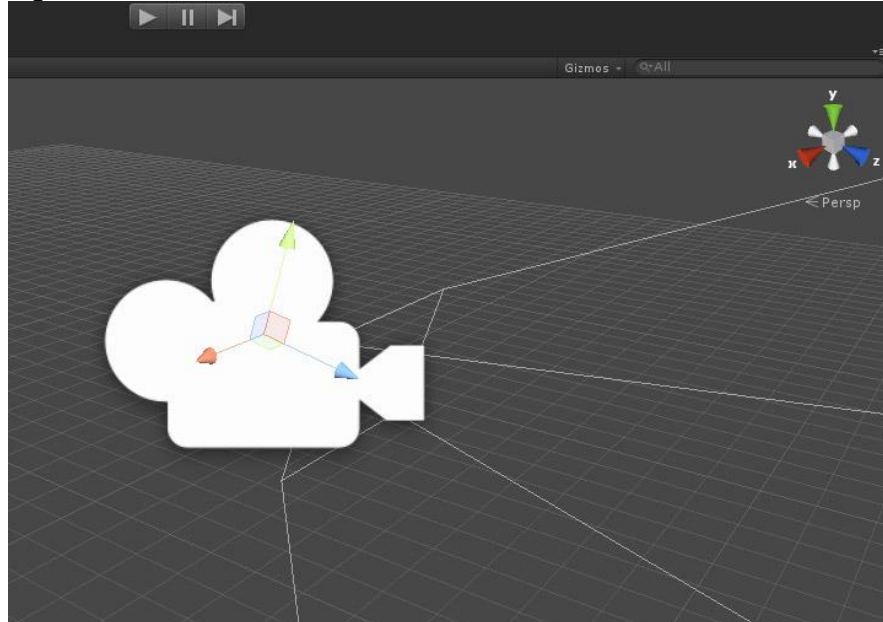
#### 4.4.5 Câmeras

As câmeras renderizam as cenas que os usuários verão. Toda cena obrigatoriamente tem que ter uma câmera. Quando se cria um novo projeto automaticamente a Unity cria por padrão uma câmera chamada Main Camera. Uma



cena pode ter múltiplas câmeras que são representadas por um ícone branco em formato de câmera, como mostrado na figura 12:

Figura 13 – Câmera



Fonte: Unity (2017)

Câmeras são objetos do jogo que podem ser editadas através das ferramentas de transformação e também na view de inspeção. Pode-se classificá-las baseando em sua projeção. A perspectiva de projeção que uma câmera renderiza em uma cena é baseada no ângulo que ela aponta.

Outra projeção é a ortográfica que renderiza a cena uniformemente sem perspectiva. Esse tipo de câmera é comumente usado em jogos em duas dimensões e na interface com usuário da Unity.

#### 4.4.6 Polígonos, Arestas, Vértices e Malhas

Na construção da forma 3D, basicamente todos os objetos são feitos de interconexões de formas 2D conhecidas como polígono. Quando importamos um modelo de um software de modelagem como Blender, 3D Studio Max e outros, a Unity converte todos os polígonos em polígonos triangulares também denominados como faces que são formadas por três arestas. O local de encontro dessas arestas é chamado de vértices ou pontos, com essas localizações o motor gráfico consegue calcular os pontos de impactos, na Unity são chamados de colisões. Os softwares

gráficos nos permitem exportar modelos 3D em malhas onde o objeto é formado por todas as suas arestas como em um modelo real. Com as malhas pode saber por exemplo quando uma arma dispara uma bala em um local do cenário com a colisão da malha temos o ponto exato em que ela colidiu. Em projetos de simulação e jogos digitais é crucial o desenvolvedor ter o conhecimento da contagem dos polígonos, porque quanto maior o número deles maior vai ser o processamento exigido para o computador renderizar os objetos na tela. São eles também que fazem jogos antigos conterem menos detalhes que jogos novos (GOLDSTONE, 2009).

#### 4.4.7 Materiais, Texturas e Sombreadores

Material é um conceito comum entre os programas 3D, eles fornecem a possibilidade de customizar o visual de um modelo 3D. Permitindo colocar nos objetos desde cores uniformes a imagens para cada superfície do mesmo. Quando usamos imagens como material as chamamos de texturas. A Unity também nos fornece a possibilidade de trabalhar com sombreadores, onde um *script* controla como o estilo da textura renderiza. Por exemplo a textura refletiva de um espelho que mostra a imagens dos objetos ao seu redor, mas mantém em partes a sua cor de objeto dependendo do ponto de vista do jogador.(GOLDSTONE, 2009)

Na Unity qualquer material criado em seu pacote de modelagem 3D pode ser importado, recriado pelo motor gráfico esses componentes são chamados de *Asset*. Apesar de ser totalmente possível criar um material com os recursos padrões da plataforma, anexando imagens como texturas e selecionar um sombreador que contém na biblioteca ou escrever seus próprios códigos para as sombras, também é possível usar outros recursos criados pela comunidade da Unity.(GOLDSTONE, 2009)

#### 4.4.8 Física de Corpos Rígidos e Colisões

Para os desenvolvedores que trabalham com motores gráficos, a mecânica de física é uma maneira de simular interação dos objetos do mundo real na simulação. A Unity usa o motor PhysX da Nvidia que é usado por outros motores como *Unreal Engine 3*, *Unreal Engine 4* e ferramentas como *Maya* e *3D Studio Max*. Os motores de jogo não assumem que todo objeto por padrão no projeto é afetado pela física, pois quando estes são adicionados mais processamento de máquina é exigido. O corpo

rígido é o elemento que habilita um objeto interagir fisicamente com outro objeto com o mesmo componente. Os motores físicos usam o sistema de corpos rígidos dinâmicos para criar movimentos realísticos, adicionando a objetos 3D antes estáticos propriedades com: massa, gravidade, velocidade e atrito. (GOLDSTONE, 2009)

A detecção de colisão é a maneira que um motor gráfico analisa a interação entre os objetos, quando adicionamos um componente de colisão a um objeto, efetivamente coloca-se uma rede invisível ao redor dele. Essa rede imita a sua forma e reporta quando ela colide com outro componente de colisão, por exemplo em um jogo de boliche. A bola tem um colisor em esfera enquanto os pinos terão colisores em cápsulas, quando a bola encontra com os pinos, esse impacto reporta o motor físico que aplica as reações levando em consideração a direção do impacto, a velocidade e outro fatores. (GOLDSTONE, 2009)

#### **4.4.9 Sistema de Partículas**

Partículas são simples imagens ou malhas que são mostradas se movimentando em grande número em um sistema de partículas que é o componente que simula a geração de entidades de fluidos como: líquidos, nuvens, fumaças e chamas. Ele anima uma grande quantidade de pequenas imagens 2D na cena. Cada partícula representa uma pequena porção do fluido ou uma entidade amorfa que quando todas entidades juntas tem o efeito de uma entidade inteira. Por exemplo uma nuvem de fumaça, cada partícula tem uma pequena textura de fumaça e todas juntas formam a nuvem de fumaça. O número de partículas unidas forma o volume que o fluido tem.

Cada partícula tem um tempo de vida pré-determinado, normalmente são alguns segundos onde os caminhos das partículas podem ter várias mudanças. O começo do tempo de vida de uma partícula é gerado ou emitido pelo sistema de partícula. Ela emite a partícula em uma posição randômica entre a forma pré-estipulada que pode ser esférico, hemisférico, cônico, em forma de caixa ou uma malha arbitrária. Mostra-se a partícula até o seu tempo de vida finalizar, após isso ela é removida do sistema. A taxa de emissão do sistema determina quantas partículas serão geradas por segundo, pode-se colocar uma média de partículas estáveis que as partículas que estão dentro do seu tempo de vida. Outras propriedades que são



determinadas em partículas são a sua velocidade, força e gravidade que interagem com a área de vento do terreno na cena.

## **5 TRABALHOS correlatos**

As tecnologias estudadas neste trabalho podem ser encontradas em diversas pesquisas realizadas recentemente. Este capítulo tem como objetivo apresentar alguns trabalhos referentes aos assuntos abordados, como utilização de túneis de vento e de simulação.

### **5.1.1 Wind tunnel simulation and evaluation of soil conservation function of alpine grassland in Qinghai–Tibet Plateau**

O artigo escrito por Lu, C.X., Yu, G. e Xiao, Y. (2013) tem o objetivo de através do estudo de funções de conservação do solo em diferentes tipos de pradarias em seus valores econômicos.

A pesquisa é conduzida por experimentos de simulação para (1) o valor quantitativo do serviço de conservação do solo; (2) Analise dos efeitos dos níveis de perturbação na conservação do solo entre vários tratamentos; (3) a avaliação dos valores econômicos na conservação do solo. A taxa de erosão é um indicador da média da função de conservação do solo. No geral, quanto mais alta taxa de erosão no solo, menor será a função de conservação do solo.

O experimento mostrou que a taxa de erosão da amostra de 3 pradarias aumenta com a velocidade do vento sobre diferente tratamentos, mas a taxa de incremento da erosão varia consideravelmente.

### **5.1.2 Túnel de Vento da FAUUSP - Instrumento para ensaios de modelos físicos em conforto ambiental**

O trabalho desenvolvido pelo Alex G. Uzueli, Alessandra R. Prata Shimomura e Denise Duarte (2008) que resultou na criação do Túnel de Vento de Camada Limite Atmosférica da FAUUSP – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo, Brasil. Para uso didático e de pesquisa no curso de Arquitetura e Urbanismo da FAUUSP. A metodologia adotada partiu de uma revisão bibliográfica referente a desempenho térmico, equipamentos destinados a experimentos de ventilação natural, aerodinâmica aplicada à construção civil e mecânica dos fluidos. A contribuição deste instrumento para a faculdade é viabilizar a realização de ensaios de ventilação natural em modelos físicos, na interface dos

estudos técnicos sobre desempenho ambiental (ensaios experimentais) e a prática do projeto (urbano e edifício).

E de resultado a construção do túnel tem aproximadamente 7m de comprimento e foi dividido em módulos de acordo com sua função, construção e montagem. Os módulos são: contração, difusor, ventilador e câmara de ensaio, que poderá ser estendida acrescentando-se outro módulo, se necessário. Foram utilizados componentes metálicos na estrutura e chapas de compensado nas paredes da câmara de ensaio e na contração.

### **5.1.3 Simulação de elevação do nível do mar na cidade de Joinville (SC)**

O trabalho escrito por Samara Braun e Juarês José Aumond (2017), O objetivo deste artigo é de mapear as áreas impactadas pela elevação do nível do mar na cidade de Joinville (SC), uma cidade que surge e se expande sobre uma planície costeira e ecossistemas de mangue. Os mapeamentos foram realizados através de softwares de geoprocessamento e indicam a elevação do nível do mar impactará ecossistemas naturais e urbanos. Os cenários de prognósticos das mudanças climáticas possibilitam uma análise de possíveis situações futuras, configurando uma ferramenta relevante para o planejamento das cidades. A relevância deste mapeamento inicial consiste em inspirar os planejadores e urbanistas a refletirem sobre as mudanças climáticas e consequentes alterações que irão ser ocasionadas nas dinâmicas locais, para fins de planejamento e construção de uma cidade mais sustentável e resiliente.

A não consideração do fator das mudanças climáticas nos planos setoriais de desenvolvimento urbano poderá ocasionar, entre outras problemáticas, o custo elevado em infraestruturas de adaptação pós-impacto, diminuição do valor imobiliário em áreas propensas a inundações (devido as alterações nas dinâmicas de maré e consequente inundações), danos às zonas industriais e interferência no setor econômico local, danos às infraestruturas de mobilidade (rodoviárias e ferroviária) com consequente problemas na gestão da movimentação de cargas devido a expansão das zonas de inundações, aumento da necessidade de manutenção de infraestruturas urbanas, entre outras consequências.

#### **5.1.4 Um novo conjunto de regras para simulação de tráfego e criação de vias utilizando autômatos celulares**

O trabalho escrito por Jonathan Custodio (2017), visa o estudo sobre as teorias de fluxo de tráfego e autômatos celulares com o objetivo de suprir as limitações do TRANSIM que é um simulador de fluxo de tráfego em dispositivos móveis das imediações da Universidade do Extremo Sul Catarinense, através da criação e adaptação de novas regras de autômatos celulares, além de possibilitar um meio de criação de vias e fluxos de tráfego personalizados. Fornecendo aos profissionais do trânsito, uma ferramenta que permita estruturar determinada via e simular seu comportamento.

Foi validado que o protótipo pode ser utilizado por agentes de trânsito ou engenheiro de tráfego para que os mesmos possam estruturar circuitos de vias juntamente com a inserção de sinalizações para avaliar a viabilidade de tais circuitos.

Para o desenvolvimento do protótipo, foi realizado um estudo aprofundado de ACs, teorias de fluxo de tráfego, regras de trânsito e do protótipo TRANSIM. O conhecimento em ACs é necessário para o funcionamento do protótipo pois o mesmo que define as regras da simulação. O estudo sobre fluxo de tráfego e regras de trânsito é essencial para a estruturação das vias e para a elaboração das regras de movimentação dos veículos.

## 6 SIMULAÇÃO DE PRÉ-OPERAÇÃO DO TÚNEL DE VENTO UNESC

Este capítulo descreve a metodologia utilizada no trabalho permitindo que os objetivos propostos fossem alcançados. Será apresentado as etapas do desenvolvimento, e ao fim serão discutidos os resultados obtidos.

### 6.1 METODOLOGIA

Para alcançar os objetivos do trabalho, as seguintes etapas metodológicas foram realizadas: Levantamento bibliográfico, Definição da técnica escolhida para a implementação do modelo virtual, elucidação dos conceitos agregados ao equipamento real, ambientação com as ferramentas 3D, *SolidWorks* e 3D Builder para a introdução do modelo no motor gráfico. Aplicação dos cálculos na Unity inteirando aos objetos e funções do ambiente.

A pesquisa bibliográfica permitiu que na fundamentação teórica fossem abordados conceitos sobre simulação e como esta transforma um objeto real em virtual e quais os benefícios deste processo.

O modelo físico escolhido para a implementação foi o túnel de vento, pois a universidade tem o equipamento real, e isso permite uma maior validação de similaridade com o modelo virtual. Essa estrutura extrai valores para cálculos que são estudados na disciplina de mecânica dos fluidos, a possibilidade de agregar a simulação em sala de aula foi outro fator que corroborou para esta escolha.

O coorientador dispunha do modelo 3D do Túnel de vento em *SolidWorks* para a sua conversão para o motor gráfico, além das duas ferramentas precisou de um software intermediário que foi o 3D builder.

O motor gráfico Unity foi escolhido, porque como apresentado no capítulo de Motores Gráficos é o ambiente com melhor equilíbrio entre número de recursos e curva de aprendizado, e na universidade existe o curso em jogos digitais onde o estudo da mesma está na grade, validando assim a sua importância no meio de motores, e tornando possível a ajuda de professores do curso em possíveis problemas.

Os dados retirados em medições no túnel de vento eram colocados em uma *Integrated Development Environment* (IDE) de programação para engenharia

chamado *LabView* que gerava uma planilha com os resultados. Os cálculos usados no *LabView* foram implementados na simulação.

## 6.2 PROCESSO DE SIMULAÇÃO.

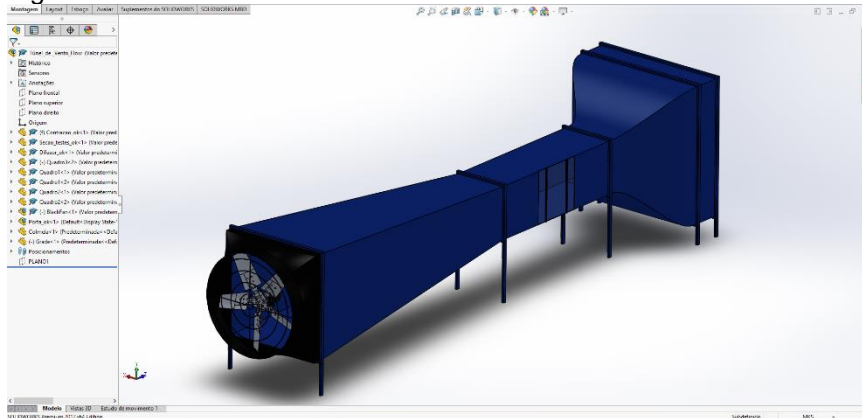
Remetendo a Law no capítulo de simulação onde este explica que a simulação imita vários tipos de operações do mundo real que são realizadas através de sistemas, e diagrama na figura 1 as maneiras de estudá-los, aplicando isso ao contexto do projeto, o sistema é os cálculos obtidos através dos testes aplicados pelo túnel de vento para determinação do arrasto em um protótipo. O experimento com o sistema atual são os testes desenvolvidos no túnel de vento real, o experimento com o modelo do sistema é a realização de testes com valores idealizados e através do modelo matemático extrair os resultados.

Nesse âmbito uma solução analítica não é indicada pelo fato de existir um número considerável de cálculos, e para uma nova solução todos os cálculos terão de ser refeitos gerando uma demanda grande de tempo. Com a simulação reduz o tempo desses cálculos a milissegundos tornando muito mais rápido a visualização da força de arrasto gerada se por exemplo aumentarmos a área de projeção do protótipo.

## 6.3 INTERAÇÕES ENTRE FERRAMENTAS 3D PARA IMPORTAÇÃO DO TUNEL DE VENTO NA UNITY.

Para o desenvolvimento do túnel de vento real foi necessário o projeto do modelo 3D no *SolidWorks*, um software para desenhos mecânicos, desenvolvido pelo Instituto de Engenharia e Tecnologia da UNESC que foi cedido para o desenvolvimento desse projeto, como pode ser visualizado na imagem 14.

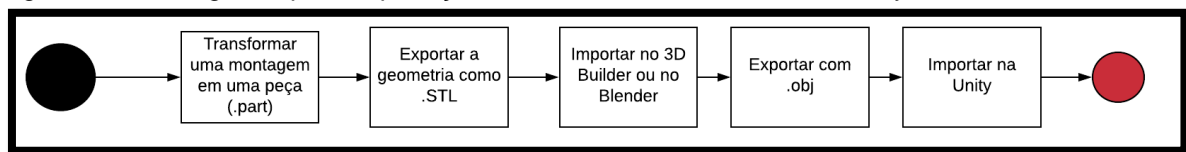
Figura 14 – Modelo 3D do Túnel de Vento em SolidWorks.



Fonte: Do Autor

O fluxograma ilustrado na imagem 15 representa processo realizado para a importação do túnel de vento na Unity.

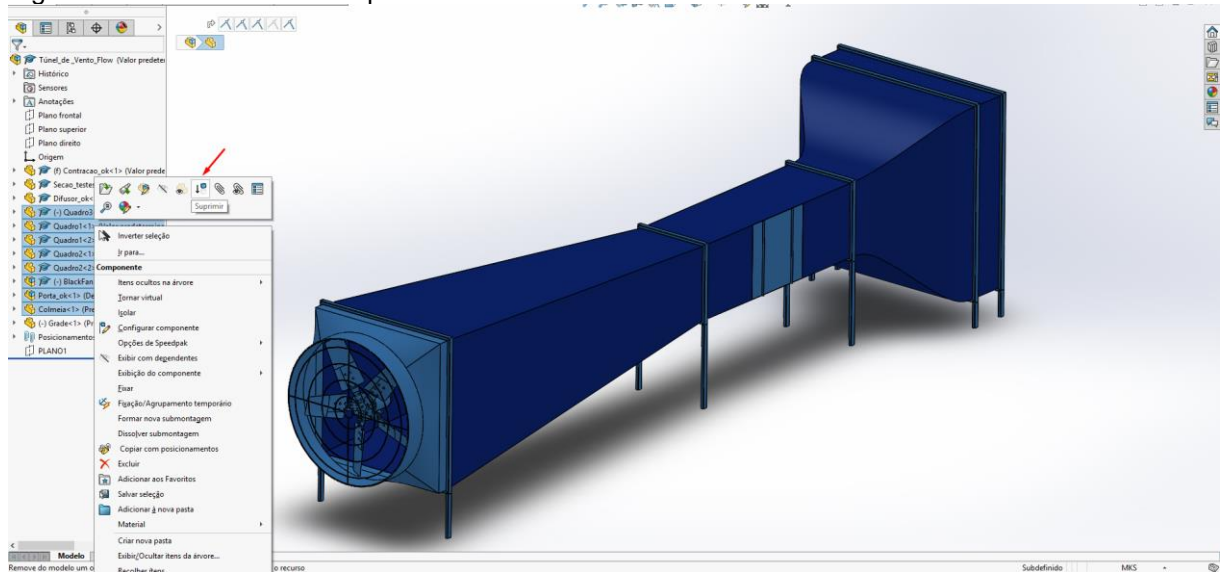
Figura 15 – Fluxograma para importação de um modelo SolidWorks na Unity.



Fonte: Do Autor

Para poder gerar uma peça do túnel tem que suprimir os outros componentes. A imagem 16 ilustra esse procedimento. Os procedimentos de cada estrutura dentro do *SolidWorks* podem gerar uma peça, assim, ela vira uma estrutura única, e não vários componentes agregados, exemplo o exaustor que é a composição de pás e parafusos centralizados em um *hub*, mas pode-se transforma-lo em uma peça única. Para melhor gerenciamento dentro do motor gráfico o túnel foi exportado nas seguintes partes: a estrutura do túnel que é a união de difusor, área de teste e contração, sustentação, colmeia, exaustor, grade e janela. O processo para geração de um arquivo .part necessita apenas que após as partes suprimidas o resto seja salvo no formato .part.

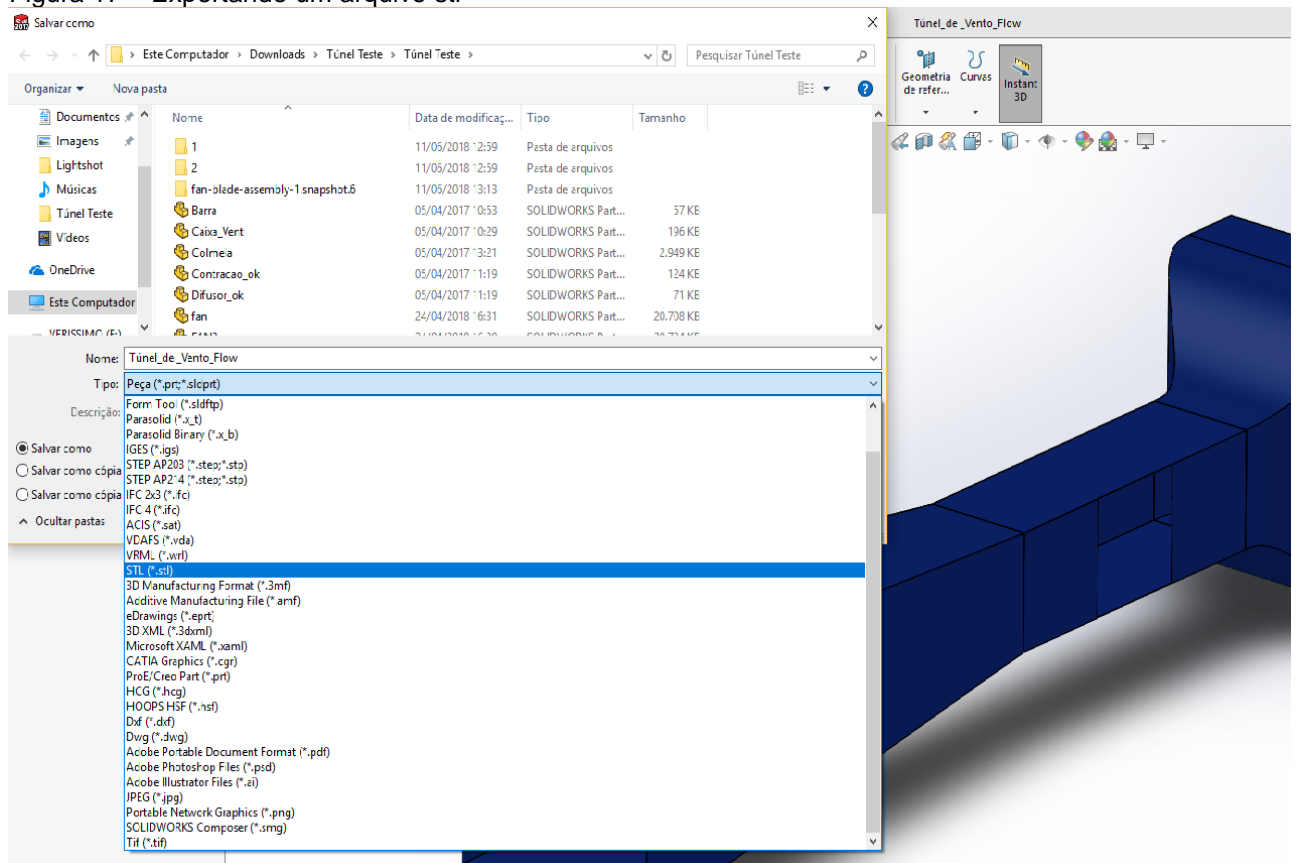
Figura 16 – Funcionalidade suprimir no SolidWorks



Fonte: Do Autor

Após a peça ser salva como uma parte ela necessita ser aberta no SolidWorks para ser exportado como um arquivo STL, essa parte é importante, pois esse é um formato que o software de projetos mecânico consegue exportar e os softwares de modelagens 3D conseguem importar. O procedimento de exportação é ilustrado na imagem abaixo.

Figura 17 – Exportando um arquivo stl

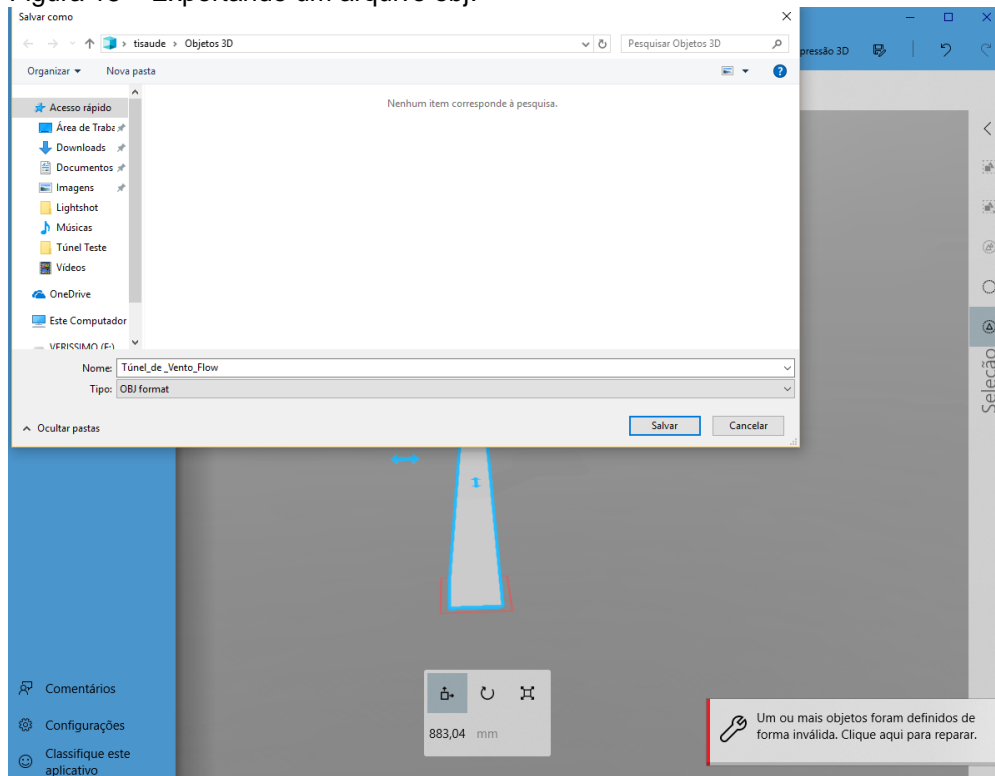




Fonte: Do Autor

Com o .stl gerado o podemos importar facilmente no 3D Builder se estiver em ambiente Windows, apenas clicando com o botão direito e escolhendo a opção abrir como 3D Builder. Após abrir os arquivos tem-se que exportar como .obj que é o tipo de arquivo que a Unity consegue importar. A exportação em .obj está apresentado na imagem 18

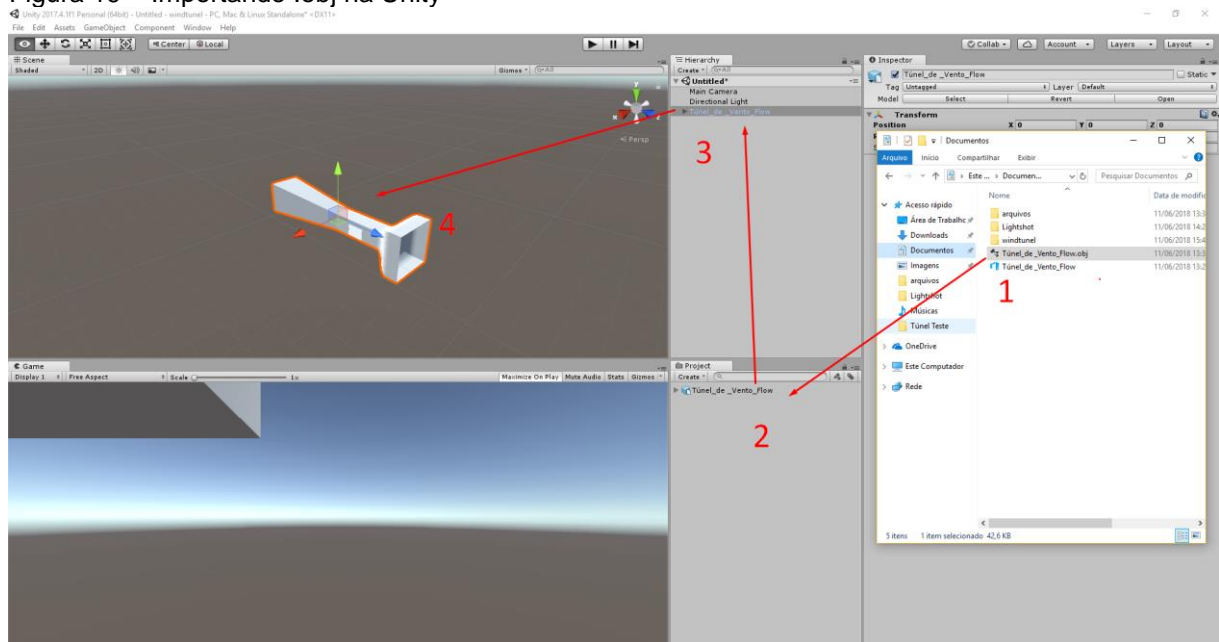
Figura 18 – Exportando um arquivo obj.



Fonte: Do Autor

Com o arquivo .obj gerado, arrasta-se o arquivo para a *Project View* que é apresentada no subcapítulo *Views* no capítulo de motores gráficos, com o arquivo dentro da Unity coloca-se o mesmo na cena estando pronto para ser utilizado pelo motor. Este processo pode ser visualizado na imagem 19.

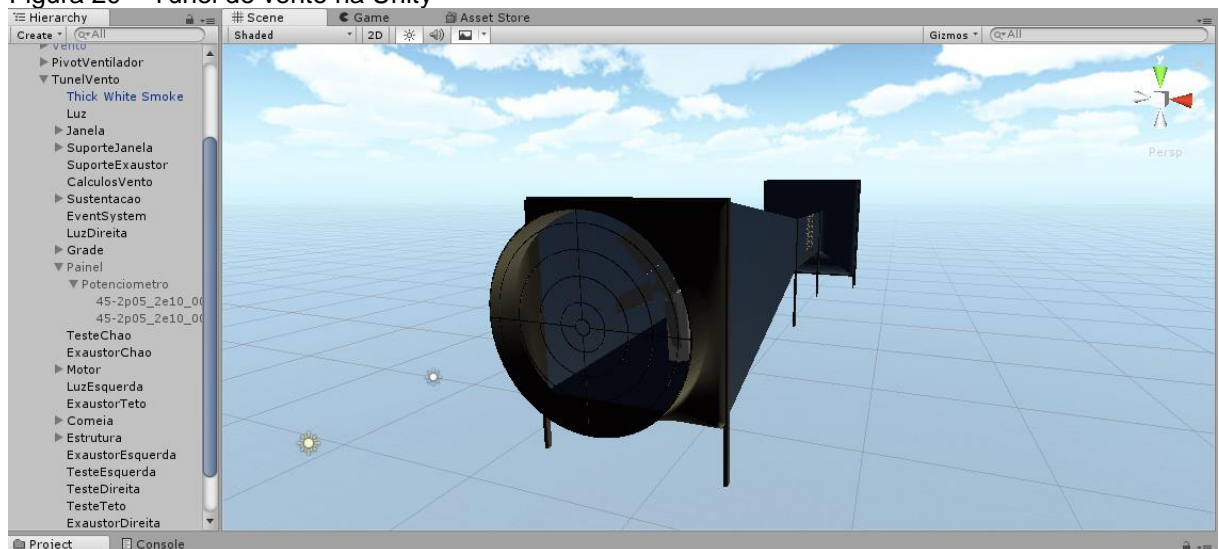
Figura 19 – Importando .obj na Unity



Fonte: Do Autor

Para a composição do túnel na Unity as exportações das peças foram realizadas na seguinte ordem: estrutura (difusor, área de testes e contração), os quadros de sustentação do túnel, a grade, a colmeia, o exaustor e o motor. Todos eles passaram pelo processo descrito a cima. E por fim a Imagem 20 mostra a estrutura completa do túnel montada na Unity.

Figura 20 – Túnel de vento na Unity



Fonte: Do Autor

## 6.4 FUNCIONAMENTO DO TÚNEL NA UNITY.

O simulador foi desenvolvido para se comportar da seguinte forma, o usuário controla a velocidade do vento pelo potenciômetro fixado no painel na parede, onde com os botões de = e – aumenta ou diminui velocidade no vento que é gerado por um exaustor. O vento determina a velocidade que a fumaça se movimenta, e é o fator determinante para todos os cálculos realizados na área de teste.

### 6.4.1 Potenciômetro, Exaustor

O potenciômetro é a peça responsável pelo controle da velocidade exaustor que por sua vez tem o intuito de controlar a velocidade do vento. Esse processo está descrito no código dentro da imagem 21. O código está dentro do método *update* que executa constantemente no motor, verifica-se o usuário digitou = ou -, e se o foi digitado = adiciona mais 0.1 na velocidade do vento e o mesmo valor para a rotação do exausto. Quando se digita – o código se comporta de maneira contrária diminuindo -0.1, e diminui a rotação do exaustor.

Figura 21 – Código potenciômetro.

```

if ( Input.GetKeyDown(KeyCode.Equals)) {
    speed += increment;
    transformPontentiometer.Rotate(0, speed, 0);

    if (play)
    {

        if (speed >= 5f)
        {
            main.simulationSpeed = 5f;
        }

    }
}
if ( Input.GetKeyDown(KeyCode.Minus)) {
    speed -= increment;
    transformPontentiometer.Rotate(0, -speed, 0);
    if (play)
    {
        if ((speed <= 0.8f))
        {
            main.simulationSpeed = 0.8f;
        }

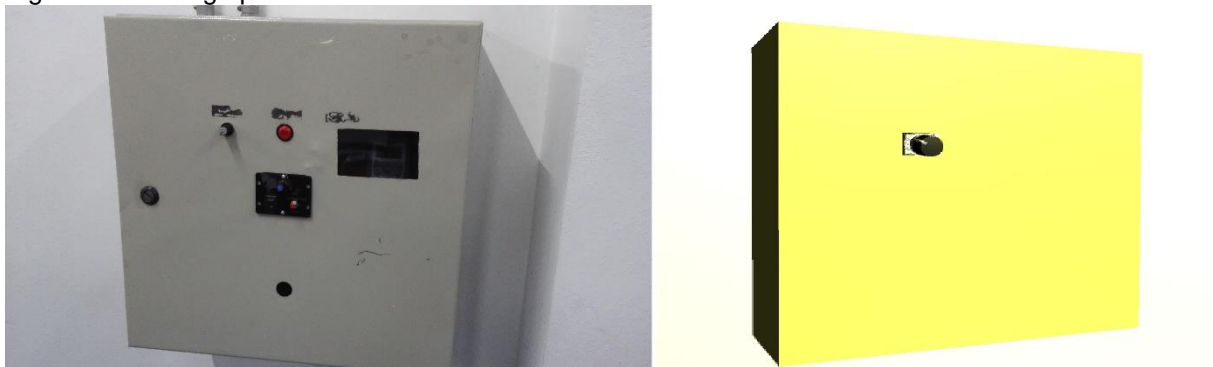
    }
}
}

```

Fonte: Do Autor

Na figura 22 temos a comparação de o painel real e do painel digital.

Figura 22 – Código potenciômetro.

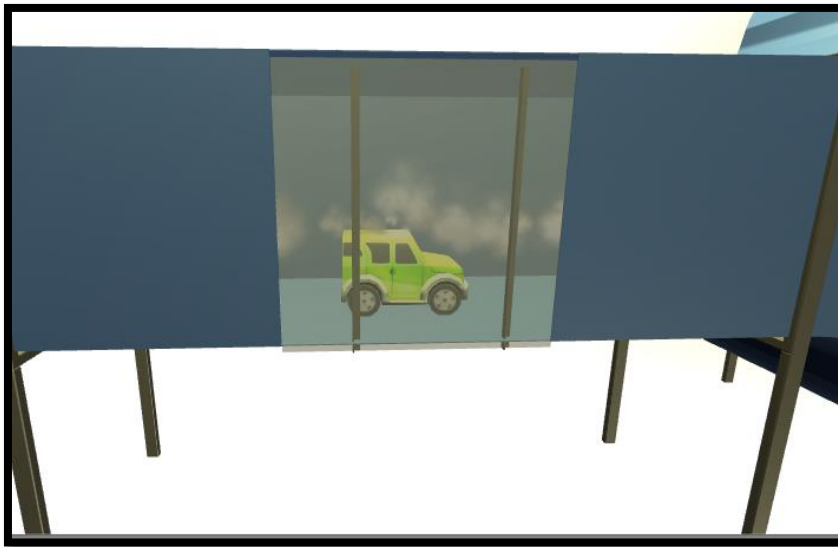


Fonte: Do Autor

#### 6.4.2 Sistemas de Partículas e Colisores

A fumaça em um túnel de vento serve como um visualizador do escoamento, pelo fato de não ser possível a visualização do ar. Na imagem 23 podemos ver com ela se comporta no protótipo.

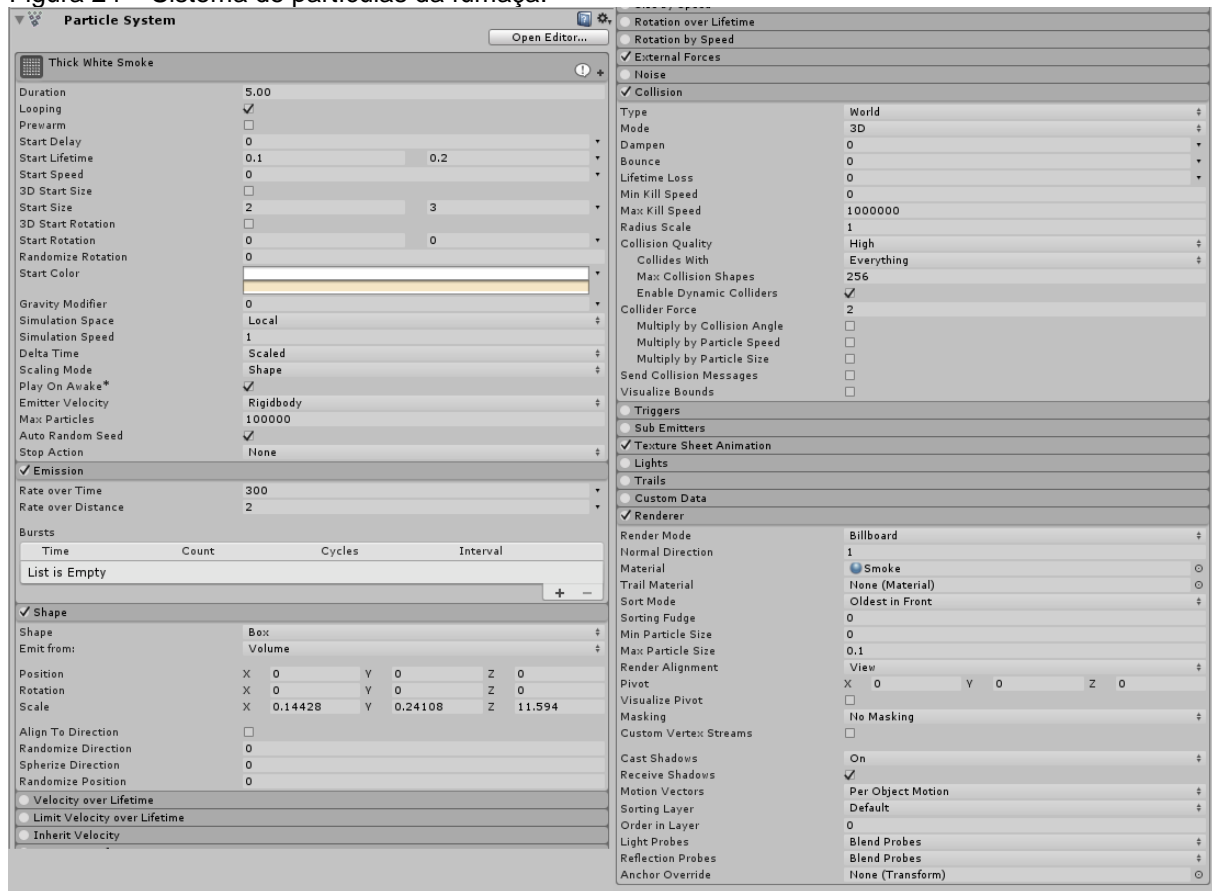
Figura 23 – Fumaça no Túnel



Fonte: Do Autor

A fumaça foi desenvolvida utilizando o sistema de partículas da Unity que foi explicado no subcapítulo de sistemas partículas no capítulo de motores gráficos. Na imagem 24 mostra todas as variáveis colocadas no componente e o seu código de funcionamento.

Figura 24 – Sistema de partículas da fumaça.



Fonte: Do Autor

Com o componente pode ser colocada uma quantidade grande de variáveis, mas as mais importantes no projeto são que o sistema está em *looping* ele emite 300 partículas pelo tempo inicial de 0.1 segundo, a sua forma é em caixa, as partículas têm colisões, o tamanho máximo de a partícula é de 0.1 milímetros e por fim o sistema terá no máximo 10000000 de partículas.

Para o funcionamento da fumaça no túnel foi desenvolvido o código apresentado na imagem 25.

Figura 25 – Código de funcionamento da fumaça.

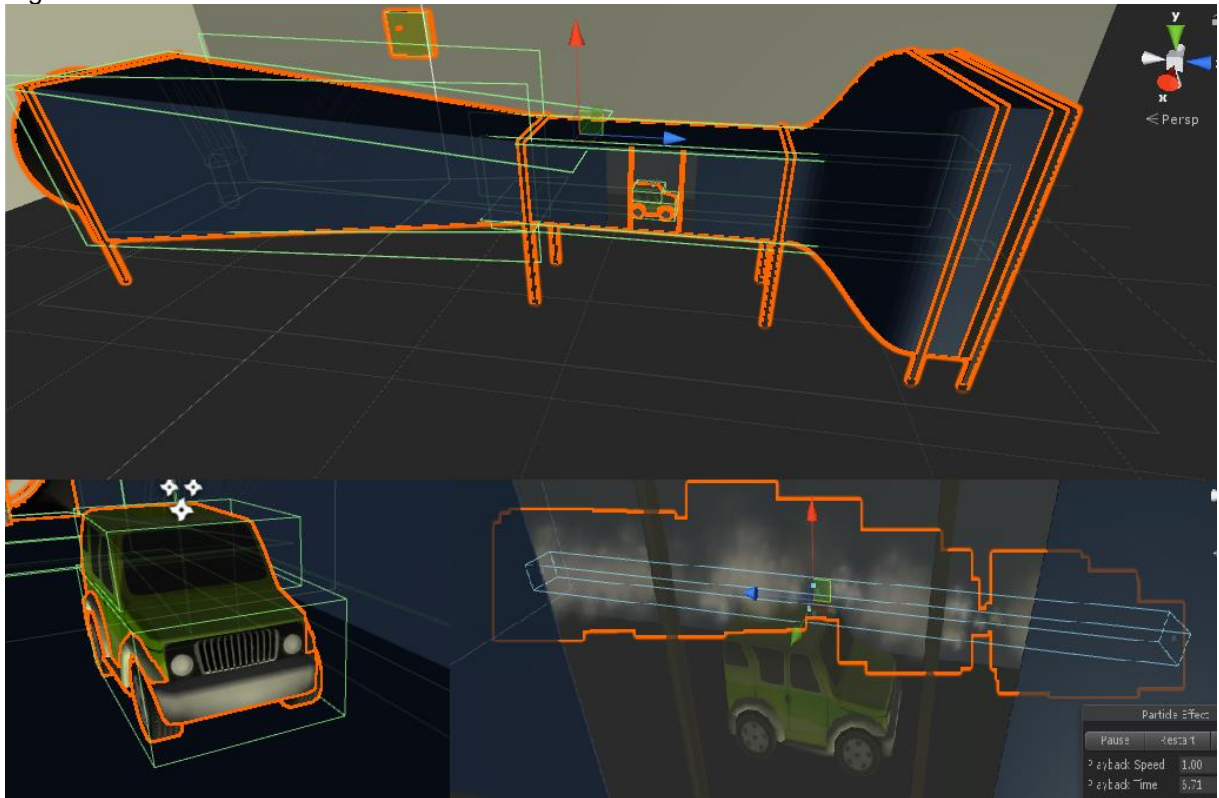
```
if (Input.GetKeyDown(KeyCode.F))
{
    if (!play)
    {
        play = true;
        fumaca.Play();
    }
    else
    {
        play = false;
        fumaca.Stop();
    }
}
```

Fonte: Do Autor

O código verifica o usuário digitou a Tecla F, caso tenha digitado o código valida se a já está sendo executada, caso esteja a fumaça some. No caso da mesma não estar sendo executada o código começa a executar a emissão das partículas.

As colisões como foram explicados no capítulo de motores, servem para mostrar o contato físico entre dois corpos rígidos. No simulador foi colocado no chão da sala onde o túnel se encontra para manter a sustentação em pé, nos protótipos para colidirem com a fumaça, no Túnel para a fumaça não vazar e por fim nas partículas de fumaça, como apresenta a imagem 26.

Figura 26 – Colisores do Túnel de Vento.



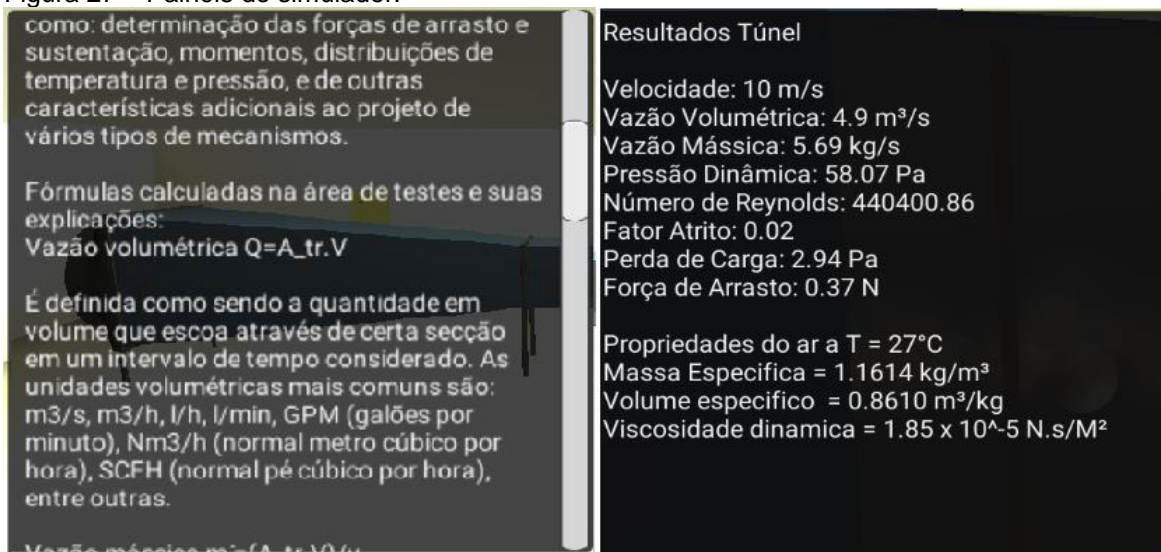
Fonte: Do Autor.

#### 6.4.4 Painéis

Foi desenvolvido dois painéis para o túnel de vento que podem ser acessados com os botões F1 e F2. O botão F1 serve como ajuda para entender o túnel, uma vez que explica a sua função e os cálculos que este realiza. O F2 tem o objetivo da simulação, pois pode-se trocar os valores das variáveis do túnel e os resultados dos cálculos. Os painéis podem ser visualizados na figura 27.



Figura 27 – Painéis do simulador.



Fonte: Do Autor.

#### 6.4.4.1 Equação

O coorientador disponibilizou todas as equações que são analisadas nos testes executados na universidade, abaixo serão listadas as equações e com uma explicação sobre a mesma.

Vazão volumétrica é a quantidade em volume que um fluido escoar através de certa secção em um intervalo de tempo considerado.

$$Q = A_{tr} \cdot V$$

Vazão mássica é similar a vazão volumétrica, porém a quantidade de fluido escoado é em massa ao invés de volume.

$$\dot{m} = \frac{A_{tr} \cdot V}{v}$$

Pressão dinâmica A pressão dinâmica indica a quantidade de pressão total resultante da velocidade de um fluido no túnel.

$$p_{din} = \frac{\rho \cdot V^2}{2}$$

Fator de atrito é um parâmetro adimensional que é utilizado para calcular a perda de carga no túnel devida ao atrito.

$$f = 0,25 \left[ \log \left( \frac{\varepsilon/D_h}{3,7} + \frac{5,74}{Re^{0,9}} \right) \right]^{-2}$$

Força de arrasto é a força que faz resistência ao movimento de protótipo através da fumaça, esse é o valor mais importante retirado da simulação, pois é ela que define quanto um objeto será aerodinâmico.

$$F_D = C_D \frac{\rho \cdot A \cdot V^2}{2}$$

A implementação desses cálculos pode ser visualizada na imagem 28.

Figura 28 – Implementação dos cálculos.

```
public Double volumetricFlow(Double speed)
{
    return (speed * crossSectional);
}

public Double massFlow(Double speed)
{
    return (speed * crossSectional) / viscosity ;
}

public Double DynamicPressure(Double speed)
{
    return (Math.Pow(speed, 2) * density) / 2;
}

public Double ReynoldsNumber(Double speed)
{
    return (density * speed * hydraulicDiameter) / mu;
}

public Double frictionFactor(Double speed)
{
    return 0.25 * Math.Pow(( Math.Log10(((relativeRugosity)/3.7)+(5.74/Math.Pow(reynolds,0.9)))), -2);
}

public Double chargeLoss(Double speed)
{
    return (frictionFactor(speed) * ((density * length * Math.Pow(speed, 2)) / (2 * hydraulicDiameter)));
}

public Double drag(Double speed)
{
    return dragRate * ((density * projectedArea * Math.Pow(speed,2))/2);
}
```

Fonte: Do Autor.

Em uma execução de teste no túnel real, os dados são colocados no LabView que gera uma planilha com os resultados. O projeto também exporta os dados em planilha, basta clicar na letra P e o Simulador gera a planilha. O código de geração da planilha está na imagem 29 e na imagem 30 temos os dados exportados pelo código.

Figura 29 – Código de exportação dos resultados do simulador em planilha.

```
private List<string[]> rowData = new List<string[]>();
public WindEquation windEquation;
void Save()
{
    string[] rowDataTemp = new string[7];
    rowDataTemp[0] = "Vazao Volumetrica";
    rowDataTemp[1] = "Fator Atrito";
    rowDataTemp[2] = "Vazao Massica";
    rowDataTemp[3] = "Perda de Carga";
    rowDataTemp[4] = "Pressao Dinamica";
    rowDataTemp[5] = "Forca de Arrastro";
    rowDataTemp[6] = "Numero de Reynolds";
    rowData.Add(rowDataTemp);

    for (int i = 0; i < 1; i++)
    {
        rowDataTemp = new string[7];
        rowDataTemp[0] = windEquation.volumetricFlow(windEquation.speed).ToString();
        rowDataTemp[1] = windEquation.frictionFactor(windEquation.speed).ToString();
        rowDataTemp[2] = windEquation.massFlow(windEquation.speed).ToString();
        rowDataTemp[3] = windEquation.chargeLoss(windEquation.speed).ToString();
        rowDataTemp[4] = windEquation.dynamicPressure(windEquation.speed).ToString();
        rowDataTemp[5] = windEquation.drag(windEquation.speed).ToString();
        rowDataTemp[6] = windEquation.ReynoldsNumber(windEquation.speed).ToString();
        rowData.Add(rowDataTemp);
    }

    string[][] output = new string[rowData.Count][];

    for (int i = 0; i < output.Length; i++)
    {
        output[i] = rowData[i];
    }

    int length = output.GetLength(0);
    string delimiter = ",";

    StringBuilder sb = new StringBuilder();

    for (int index = 0; index < length; index++)
        sb.AppendLine(string.Join(delimiter, output[index]));

    string filePath = getPath();

    StreamWriter outputStream = System.IO.File.CreateText(filePath);
    outputStream.WriteLine(sb);
    outputStream.Close();
}

void Update() {
    if (Input.GetKeyDown(KeyCode.P))
    {
        Save();
    }
}

private string getPath()
{
    #if UNITY_EDITOR
        return Application.dataPath + "/Exportacao/" + "Saved_data.csv";
    #elif UNITY_ANDROID
        return Application.persistentDataPath+"Saved_data.csv";
    #elif UNITY_IPHONE
        return Application.persistentDataPath+"/"+ "Saved_data.csv";
    #else
        return Application.dataPath + "/Exportacao/" + "Saved_data.csv";
    #endif
}
```

Fonte: Do Autor.

Figura 30 – Resultados gerado na planilha.

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	Vazao Volumetrica	Fator Atrito	Vazao Massica	Perda de Carga	Pressao Dinamica	Forca de Arrastro	Numero de Reynolds	
2	0.98	0.0038	61656.1224	0.0252	2.3228	0.0051	88080.1717	
3								
4								

Fonte: Do Autor.

## 6.5 RESULTADOS

O túnel de vento é um equipamento para realização de teste aerodinâmicos, a teoria que permite a extração de dados que comprovam isso, é estudada na engenharia mecânica na disciplina de mecânica dos fluidos. Essa ferramenta é fisicamente um túnel que se divide em três partes: difusora área de teste e contração, onde um fluido percorre o túnel, na área de teste colide com um protótipo. Esse evento permite-se a retirada de informações como quanto o objeto exerce no vento uma resistência, logo quanto maior a resistência menor a sua aerodinâmica.

Ao fim do projeto temos um simulador de pré-operação que permite que o estudantes e engenharia mecânica entendam como é o funcionamento de túnel de vento. Nas imagens 31 e 32 temos a execução de um teste no simulador e o segundo feito no túnel de vento real.

Figura 31 – Protótipo do carro em teste.



Fonte: Do Autor.

Figura 32 – Protótipo do aerofólio em teste.



Fonte: UNESCO (2017).

## 7 Conclusão

Neste trabalho foi apresentado o processo de elaboração do simulador de pré-operação do túnel de vento da UNESC.

O Simulador apresentou bons resultados, cumprindo o seu objetivo de se assemelhar ao túnel real, servindo como ferramenta para a compreensão de como é o funcionamento de um túnel de vento. E de como funcionam os processos físicos e matemáticos dentro do mesmo.

A percepção agora completa sobre o que se queria desenvolver um simulador, adquirida através destes estudos permitiu o desenvolvimento do túnel de vento de pré-operação.

Apesar da alta curva de aprendizado, pela necessidade de algumas habilidades que a longo do projeto foram ficando cada vez mais confortáveis. No princípio um empecilho foi o não domínio amplo no inglês, uma vez que a grande parte da documentação do túnel de vento está em arquivos da NASA.

No começo da implementação do projeto, na parte de importação dos objetos no motor gráfico demandou uma parte pequena de tempo do projeto, porém as implementações posteriores exigiram muito tempo, exemplos a implementação do giro do exaustor que não tinha um pivô centralizado, a tentativa de teste com fitas ao invés de fumaça entre outros foram atividades complicadas, porém sempre agregando conhecimento.

Com a realização do respectivo projeto foi possível atingir todas as metas propostas inicialmente, compreendendo o funcionamento de um túnel de vento, entendendo e utilizando o ambiente para desenvolvimento de jogos e simulação Unity. Aplicando os conhecimentos no túnel de vento, e criando-o em meio virtual e expondo visualmente resultados físicos que ocorreram no objeto estudado dentro dele. Realizando testes com o modelo e validando resultados gerados.

### 7.1 TRABALHOS FUTUROS

Nesta seção do capítulo, serão discutidas as possibilidades de trabalhos futuros no contexto desta simulação desenvolvida. O desenvolvimento da visualização em *Trail* para a visualização completa do caminho do vento no túnel, a elaboração de

um vídeo institucional explicando a cada parte do túnel. A geração de gráficos com cálculo de sustentação para asas de avião.

E para trabalhos na área de túnel de vento que não são do mesmo modelo do túnel de vento da UNESC, a criação de um simulador com a geometria de circuito fechado.

## REFERÊNCIAS

- ACKROYD, J. A. D. Sir George Cayley, the father of aeronautics. Part 1. The invention of the aeroplane. **Notes and Records of the Royal Society of London**, v. 56, n. 2, p. 167-181, 2002.
- ALTAIR. HyperWorks Virtual Wind Tunnel Better Technology. Better Solution., 2013.
- AUTODESK. Autodesk Flow Design, the easiest-to-use CFD program ever. 2014.
- BARTON, R. F. **Manual de simulação e jogo**. Vozes, 1973.
- BATEMAN, R. E. et al. **System improvement using simulation**. Promodel Corporation, 1997.
- BELLAN, Z. S. Andragogia em ação: como ensinar adultos sem se tornar maçante. **Santa Bárbara d'Oeste, SOCEP Editora**, 2005.
- CHAVAN, D. S. et al. Computation of flicker as a result of turbulence in a wind turbine sited on a green building using wind tunnel. Circuit, Power and Computing Technologies (ICCPCT), 2014 International Conference on, 2014. IEEE. p.554-559.
- CREIGHTON, R. H. **Unity 3D game development by example: A seat-of-your-pants manual for building fun, groovy little games quickly**. Packt Publishing Ltd, 2010. ISBN 1849690553.
- CROUCH, T. **Who Flew First?** AIR & SPACE MAGAZINE 2013.
- DEPEXE, M. D. et al. Apresentação de um jogo didático como ferramenta de apoio ao ensino da produção enxuta. **Revista Gestão Industrial**, v. 2, n. 4, 2006.
- FERREIRA, G. R. et al. SIMULADOR DE DISPOSITIVOS INDUSTRIAIS QUE UTILIZAM CÓDIGO PORTÁVEL. 2014.
- FREITAS, P. J. **Introdução à modelagem e simulação de sistemas: com aplicações em Arena**. Visual Books, 2001.
- FREITAS, P. J. F. **Introdução à modelagem e simulação de sistemas: com aplicações em Arena**. Visual Books, 2001.
- GOLDSTONE, W. **Unity game development essentials**. Packt Publishing Ltd, 2009. ISBN 1847198198.
- GREEN, J.; QUEST, J. A short history of the European Transonic Wind Tunnel ETW. **Progress in Aerospace Sciences**, v. 47, n. 5, p. 319-368, 2011/07/01/ 2011.
- HALL, N. Wind Tunnel Index. 2015.



HOWARD, M. C. Investigating the simulation elements of environment and control: Extending the Uncanny Valley Theory to simulations. **Computers & Education**, v. 109, p. 216-232, 2017/06/01/ 2017.

JOHNSON, W. Short unpublished manuscripts of Benjamin Robins. **International Journal of Impact Engineering**, v. 24, n. 4, p. 417-428, 4// 2000.

\_\_\_\_\_. The two notebooks of Benjamin Robins. **International Journal of Impact Engineering**, v. 25, n. 2, p. 193-210, 2// 2001.

KELTON, W. D. **Simulation with ARENA**. McGraw-hill, 2002.

KOLLROSS, A. Máquina de fumaça de baixo custo para túnel de vento didático. 2015.

LAUNDER, B. Horace Lamb & Osborne Reynolds: Remarkable Mancunians... and their Interactions. Journal of Physics: Conference Series, 2014. IOP Publishing. p.012001.

LAVIERI, E. **Getting Started with Unity 5**. Packt Publishing Ltd, 2015. ISBN 1784395633.

LAW, A. M.; KELTON, W. D.; KELTON, W. D. **Simulation modeling and analysis**. McGraw-Hill New York, 1991.

MCCOMMONS, J. **Sir George Cayley**: Columbia University Press: 1-1 p. 2017.

MICROCFD. 3D Virtual Wind Tunnel. 2017.

NASA. Glenn Research Center: Free Software., 2014a.

\_\_\_\_\_. Whirling Arms and the First Wind Tunnels. 2014b. Disponível em: < <https://www.grc.nasa.gov/www/k-12/WindTunnel/history.html> >.

\_\_\_\_\_. What Are Wind Tunnels? , 2017. Disponível em: < <https://www.nasa.gov/audience/forstudents/k-4/stories/nasa-knows/what-are-wind-tunnels-k4.html> >. Acesso em: 05/05/2017.

NEW WORLD ENCYCLOPEDIA. Wind tunnel. 2013.

OKITA, A. **Learning C# programming with Unity 3D**. CRC Press, 2014. ISBN 1466586532.

RAMOS, C. Simulações e jogos para formação e treinamento de administradores. In: (Ed.). **Simulações e jogos para formação e treinamento de administradores**: Fundação Escola Nacional de Administração Pública, 1991.

REYNOLDS, O. An experimental investigation of the circumstances which determine whether the motion of water shall be direct or sinuous, and of the law of resistance in

parallel channels. **Proceedings of the royal society of London**, v. 35, n. 224-226, p. 84-99, 1883.

ROVERI, E. A. M. **A simulação no ensino da gestão da produção**. 2004. Universidade de São Paulo

SARAN, D. et al. Construção de um túnel aerodinâmico do tipo soprador em material acrílico. **Anais do X CREEM**, 2003.

SATOLO, E. G. Modelo de simulação aplicado ao conceito da produção enxuta no ensino de engenharia de produção. **Revista Gestão Industrial**, v. 7, n. 2, 2011.

SCHRAMM, F.; FORMOSO, C. **Uso de simulação interativa visual no projeto de sistemas de produção de empreendimentos da construção civil**. 2007.

SCHRAMM, F. K.; FORMOSO, C. T. Uso de simulação interativa visual no projeto de sistemas de produção de empreendimentos da construção civil. **Proceedings of the III Encontro de Informação e Comunicação na Construção Civil**, 2007.

SENGE, P. M. **The fifth discipline fieldbook: Strategies and tools for building a learning organization**. Crown Business, 2014. ISBN 0804153167.

SINGH, C.; PODDAR, K. Implementation of a LabVIEW-based automated wind tunnel instrumentation system. 2008 Annual IEEE India Conference, 2008. 11-13 Dec. 2008. p.103-108.

UNESC. Túnel de Vento: Equipamento inovador e único no sul do Estado é inaugurado na Unesc. Santa Catarina, 2017.

UZUELI, A. G.; SHIMOMURA, A. R. P.; DUARTE, D. **Túnel de Vento da FAUUSP- Instrumento para ensaios de modelos físicos em conforto ambiental**: Universidade de São Paulo-Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, São Paulo 2008.

## **APÊNDICE(S)**

## APÊNDICE A – ARTIGO CIENTÍFICO

## SIMULAÇÃO DE OPERAÇÃO DO TÚNEL DE VENTO UNESC

Luiz Verissimo S. Souza<sup>1</sup>, Paulo João Martins<sup>2</sup>, Anderson Jose Antonietti<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Unidade Acadêmica de Ciências, Engenharias e Tecnologias, Curso de Ciência da Computação

<sup>2</sup> Unidade Acadêmica de Ciências, Engenharias e Tecnologias, Curso de Engenharia Mecânica

[luizverissimosouza@gmail.com](mailto:luizverissimosouza@gmail.com), [{pjm, andeson.jose}@unesc.net](mailto:{pjm, andeson.jose}@unesc.net)

**Abstract.** *Wind Tunnel is tool to perform tests in controlled conditions, measuring the physics and mechanical characteristics of the air moving past solid objects. The using of this tool in predetermined periods, joining it with mathematical software and models, provides us with approximate results for several areas of mechanics studies. Making its fully accessible for the Universidade do Extremo Sul Catarinense (UNESC). UNESC's wind tunnel began on 22 February, 2017 at Parque Científico e Tecnológico (IPARQUE), which allowed analysis of sensors to obtain pressure, force, torque, speed and acceleration of models. This paper presents the development of a wind tunnel simulator using the engine Unity 3D, based on Real UNESC's wind tunnel, propose understanding how the wind tunnel should be operated. In the test section, the engine particle system was used to simulate the smoke that was the fluid chosen for the visualization of the wind. Two pop-ups have been created on the simulator for a better understanding itself: the first pop-up to explain how the tunnel works and what are the equations extracted from it, and the second with the results obtained in relation to the wind speed controlled by the potentiometer.*

**Resumo.** *O túnel de vento é um equipamento que permiti a realização de ensaios sob condições controladas, medindo características físico-mecânicas dos protótipos, em contato com o vento. A utilização dessa ferramenta em períodos pré-estipulados de uso, unindo-o a softwares e modelos matemáticos, fornece-nos resultados aproximados para várias áreas de estudos da mecânica, tornando a sua utilização totalmente acessível. A Universidade do Extremo Sul Catarinense (UNESC) inaugurou no dia 22 de fevereiro de 2017 no Parque Científico e Tecnológico (IPARQUE) um túnel de vento que poderá permitir a análise de sensores para obter pressões, forças, torques, velocidades, acelerações e ruídos nos modelos. Esse trabalho apresenta o desenvolvimento de um simulador de túnel de vento usando o motor gráfico Unity 3D, baseado no túnel de vento da UNESC, para o entendimento de como funciona a sua operação. Na seção de teste foi utilizado o sistema de partícula do motor para simular a fumaça que foi o fluido escolhido para a visualização do vento. Para um melhor entendimento do túnel foram criados dois menus: o primeiro para explicar como o túnel funciona e quais são as equações extraídas dele, e o segundo com o resultados obtidos em relação a velocidade do vento controlada pelo potenciômetro.*

## **1. Introdução**

Atualmente vivemos em um meio que os processos mercantis e institucionais atingiram graus elevados de complexidade e são deverás dinâmicos, assim os envolvidos neste âmbito devem conciliar estes a aprendizagem para obterem resultados satisfatórios (SENGE, 2014).

A simulação é o processo de transpor um modelo real para o meio digital e conduzir experimentos com este modelo com o objetivo de entender seu comportamento e/ou avaliar estratégias do seu comportamento. Sendo assim a simulação é um processo mais amplo, compreendendo não somente a construção do modelo, mas todo o método experimental que se segue (FREITAS, P. J., 2001).

O túnel de vento é um projeto que permiti a realização de ensaios sob condições controladas, medindo características físico-mecânicas dos protótipos, em contato com o vento. Apesar do custo do ensaio, e a sofisticação necessárias das maquetes, unindo a demanda do trabalho frequentes torna inviável a utilização desse instrumento para as instituições. Todavia a utilização dessa ferramenta em períodos pré-estipulados de uso, unindo-o a softwares e modelos matemáticos, fornece-nos resultados aproximados para várias áreas de estudos da mecânica, tornando a sua utilização totalmente acessível {Uzueli, 2008 #38}

A Universidade do Extremo Sul Catarinense (UNESC) inaugurou no dia 22 de fevereiro de 2017 no Parque Científico e Tecnológico (IPARQUE) um túnel de vento que poderá permitir a análise de sensores para obter pressões, forças, torques, velocidades, acelerações e ruídos nos modelos. A disponibilidade de um equipamento deste porte na região sul trará inúmeros benefícios para as instituições de ensino e empresas, pois diferentes estudos e desenvolvimentos poderão ser realizados com ele. (UNESC, 2017).

## **2. Simulação, Tunel de Vento e Unity 3D**

Os jogos e simuladores são considerados alternativas eficientes para a visualização de sistema reais em meio digital, pois estes permitem um amplo campo de experimentação mostrando o produto de suas ações, sem danos prejudiciais em um ambiente controlado e próximo ao real. Provendo a simplificação de elementos cotidianos e os inserindo em meio acadêmico. (SCHRAMM, F. K.; FORMOSO, C. T., 2007)

Os túneis de vento são dispositivos que produzem de forma controlada um fluxo de ar, com isso permite-se a observação o comportamento do vento ao passar por um objeto. Esses se dividem túneis de circuito aberto ou fechado, e pela velocidade de tempo que podem ser subsônicos, transônicos ou hipersônico. O túnel de vento da UNESC é do tipo aberto com ventos em velocidade subsônica que compreendem os ventos com valores de Mach menores que 0.8. (HALL, 2015)

Contudo este trabalho visa desenvolver um simulador para em conjunto com a equipe que desenvolveu o túnel de vento da UNESC, melhorar a visualização e o entendimento do processo de execução do túnel para alunos do curso de engenharia mecânica, e as teorias e cálculos físicos para extração dos melhores resultados para os projetos e protótipos ali desenvolvidos.

## **2.1 Trabalhos Correlatos**

As tecnologias estudadas neste trabalho podem ser encontradas em diversas pesquisas realizadas recentemente. Este capítulo tem como objetivo apresentar alguns trabalhos referentes aos assuntos abordados, como utilização de túneis de vento e de simulação.

O artigo escrito por Lu, C.X., Yu, G. e Xiao, Y. (2013) tem o objetivo de através do estudo de funções de conservação do solo em diferentes tipos de pradarias em seus valores econômicos.

O trabalho desenvolvido pelo Alex G. Uzueli, Alessandra R. Prata Shimomura e Denise Duarte (2008) que resultou na criação do Túnel de Vento de Camada Limite Atmosférica da FAUUSP – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo, Brasil. Para uso didático e de pesquisa no curso de Arquitetura e Urbanismo da FAUUSP. A metodologia adotada partiu de uma revisão bibliográfica referente a desempenho térmico, equipamentos destinados a experimentos de ventilação natural, aerodinâmica aplicada à construção civil e mecânica dos fluidos. A contribuição deste instrumento para a faculdade é viabilizar a realização de ensaios de ventilação natural em modelos físicos, na interface dos estudos técnicos sobre desempenho ambiental (ensaios experimentais) e a prática do projeto (urbano e edifício).

O trabalho escrito por Samara Braun e Juarês José Aumond (2017), O objetivo deste artigo é de mapear as áreas impactadas pela elevação do nível do

mar na cidade de Joinville (SC), uma cidade que surge e se expande sobre uma planície costeira e ecossistemas de mangue. Os mapeamentos foram realizados através de softwares de geoprocessamento e indicam a elevação do nível do mar impactará ecossistemas naturais e urbanos. Os cenários de prognósticos das mudanças climáticas possibilitam uma análise de possíveis situações futuras, configurando uma ferramenta relevante para o planejamento das cidades. A relevância deste mapeamento inicial consiste em inspirar os planejadores e urbanistas a refletirem sobre as mudanças climáticas e consequentes alterações que irão ser ocasionadas nas dinâmicas locais, para fins de planejamento e construção de uma cidade mais sustentável e resiliente.

O trabalho escrito por Jonathan Custodio (2017), visa o estudo sobre as teorias de fluxo de tráfego e autômatos celulares com o objetivo de suprir as limitações do TRANSIM que é um simulador de fluxo de tráfego em dispositivos móveis das imediações da Universidade do Extremo Sul Catarinense, através da criação e adaptação de novas regras de autômatos celulares, além de possibilitar um meio de criação de vias e fluxos de tráfego personalizados. Fornecendo aos profissionais do trânsito, uma ferramenta que permita estruturar determinada via e simular seu comportamento.

Os trabalhos citados confirmam a importância do túnel de vento e como a simulação agrega para entendimento de modelos reais.

### **3. O Simulador**

O simulador foi desenvolvido para se comportar da seguinte forma, o usuário controla a velocidade do vento pelo potenciômetro fixado no painel na parede, onde com os botões de = e – aumenta ou diminui velocidade no vento que é gerado por um exaustor. O vento determina a velocidade que a fumaça se movimenta, e é o fator determinante para todos os cálculos realizados na área de teste.

#### **3.1 Potenciômetro, Exaustor**

O potenciômetro é a peça responsável pelo controle da velocidade exaustor que por sua vez tem o intuito de controlar a velocidade do vento. Esse

processo está descrito no código dentro da imagem 21. O código está dentro do método *update* que executa constantemente no motor, verifica-se o usuário digitou = ou -, e se o foi digitado = adiciona mais 0.1 na velocidade do vento e o mesmo valor para a rotação do exausto. Quando se digita – o código se comporta de maneira contrária diminuindo  $-0.1$ , e diminui a rotação do exaustor como mostrado na figura 1.

```

if ( Input.GetKeyDown(KeyCode.Equals)) {
    speed += increment;
    transformPontentiometer.Rotate(0, speed, 0);

    if (play)
    {
        if (speed >= 5f)
        {
            main.simulationSpeed = 5f;
        }
    }
}

if ( Input.GetKeyDown(KeyCode.Minus)) {
    speed -= increment;
    transformPontentiometer.Rotate(0, -speed, 0);
    if (play)
    {
        if ((speed <= 0.8f))
        {
            main.simulationSpeed = 0.8f;
        }
    }
}
}

```

Figura 1 Código potenciômetro

Na figura 2 temos a comparação de o painel real e do painel digital.



Figura 2 Comparação do painel real com o simulado.

A fumaça em um túnel de vento serve como um visualizador do escoamento, pelo fato de não ser possível a visualização do ar. Na imagem 23 podemos ver com ela se comporta no protótipo.



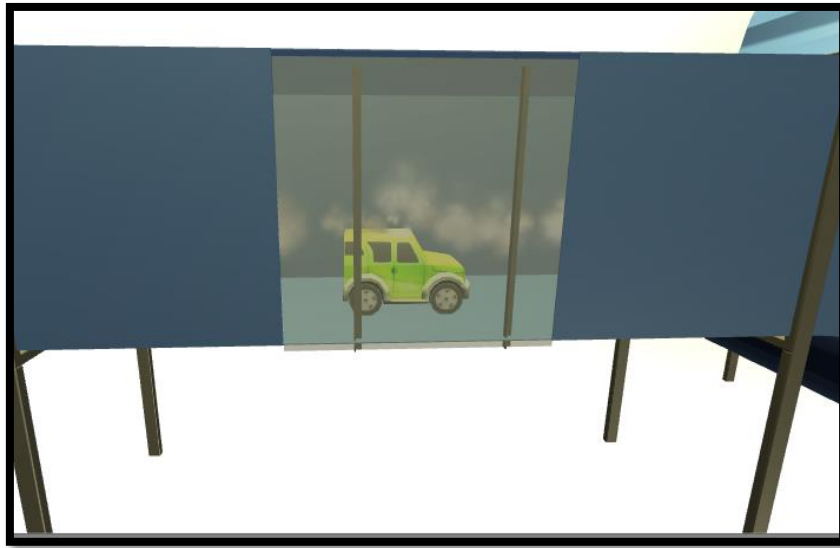


Figura 3 Visualização da fumaça.

A fumaça foi desenvolvida utilizando o sistema de partículas da Unity que foi explicado no subcapítulo de sistemas partículas no capítulo de motores gráficos. Na figura 3 mostra todas as variáveis colocadas no componente e o seu código de funcionamento.

Com o componente pode ser colocada uma quantidade grande de variáveis, mas as mais importantes no projeto são que o sistema está em *looping* ela emite 300 partículas pelo tempo inicial de 0.1 segundo, a sua forma é em caixa, as partículas têm colisões, o tamanho máximo de uma partícula é de 0.1 milímetros e por fim o sistema terá no máximo 10000000 de partículas.

Para o funcionamento da fumaça no túnel foi desenvolvido o código apresentado na figura 4.

```
if (Input.GetKeyDown(KeyCode.F))
{
    if (!play)
    {
        play = true;
        fumaca.Play();
    }
    else
    {
        play = false;
        fumaca.Stop();
    }
}
```

Figura 4 Códigos da fumaça.

O código verifica o usuário digitou a Tecla F, caso tenha digitado o código valida se a já está sendo executada, caso esteja a fumaça some. No caso da mesma não estar sendo executada o código começa a executar a emissão das partículas.

As colisões como foram explicados no capítulo de motores, servem para mostrar o contato físico entre dois corpos rígidos. No simulador foi colocado no chão da sala onde o túnel se encontra para manter a sustentação em pé, nos protótipos para colidirem com a fumaça, no Túnel para a fumaça não vazar e por fim nas partículas de fumaça, como apresenta a figura 5.

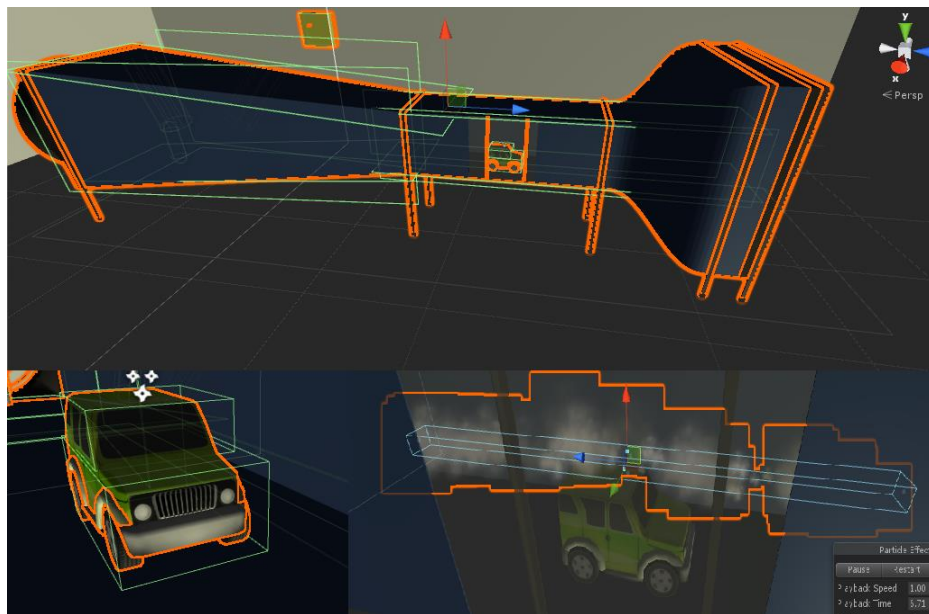
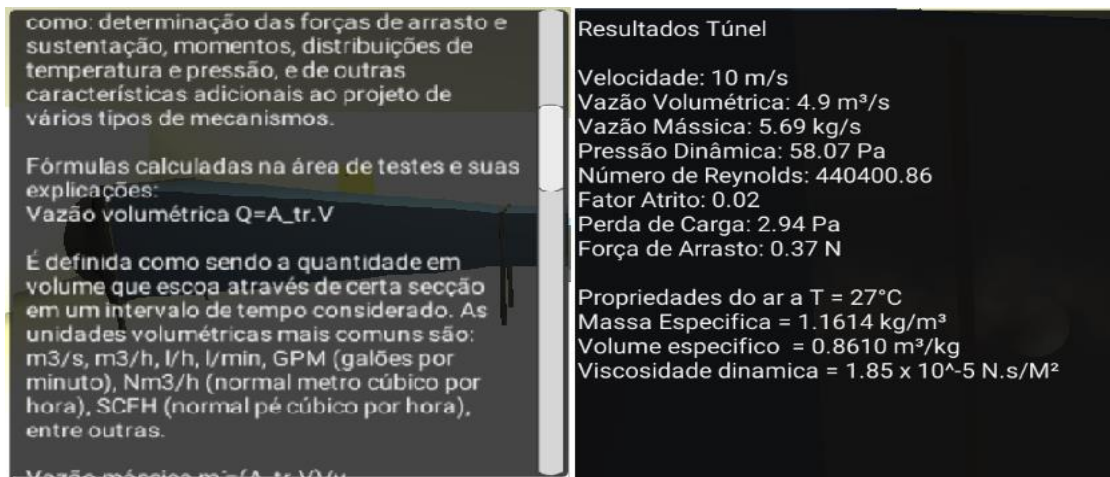


Figura 5 Os colisores.

Foi desenvolvido dois painéis para o túnel de vento que podem ser acessados com os botões F1 e F2. O botão F1 serve como ajuda para entender o túnel, uma vez que explica a sua função e os cálculos que este realiza. O F2 tem o objetivo da simulação, pois pode-se trocar os valores das variáveis do túnel e os resultados dos cálculos. Os painéis podem ser visualizados na figura 6.



**Figura 6 Os menus.**

O coorientador disponibilizou todas as equações que são analisadas nos testes executados na universidade, abaixo serão listadas as equações e com uma explicação sobre a mesma.

Vazão volumétrica é a quantidade em volume que um fluido escoar através de certa seção em um intervalo de tempo considerado.

$$Q = A_{tr} \cdot V$$

Vazão mássica é similar a vazão volumétrica, porém a quantidade de fluido escoado é em massa ao invés de volume.

$$\dot{m} = \frac{A_{tr} \cdot V}{v}$$

Pressão dinâmica A pressão dinâmica indica a quantidade de pressão total resultante da velocidade de um fluido no túnel.

$$p_{din} = \frac{\rho \cdot V^2}{2}$$

Fator de atrito é um parâmetro adimensional que é utilizado para calcular a perda de carga no túnel devida ao atrito.

$$f = 0,25 \left[ \log \left( \frac{\varepsilon/D_h}{3,7} + \frac{5,74}{Re^{0,9}} \right) \right]^{-2}$$

Força de arrasto é a força que faz resistência ao movimento de protótipo através da fumaça, esse é o valor mais importante retirado da simulação, pois é ela que define quanto um objeto será aerodinâmico.

$$F_D = C_D \frac{\rho \cdot A \cdot V^2}{2}$$

A implementação desses cálculos pode ser visualizada na figura 7.

```

public Double volumetricFlow(Double speed)
{
    return (speed * crossSectional);
}

public Double massFlow(Double speed)
{
    return (speed * crossSectional) / viscosity ;
}

public Double DynamicPressure(Double speed)
{
    return (Math.Pow(speed, 2) * density) / 2;
}

public Double ReynoldsNumber(Double speed)
{
    return (density * speed * hydraulicDiameter) / mi;
}

public Double frictionFactor(Double speed)
{
    return 0.25 * Math.Pow(( Math.Log10(((relativeRugosity)/3.7)+(5.74/Math.Pow(reynolds,0.9)))), -2);
}

public Double chargeLoss(Double speed)
{
    return (frictionFactor(speed) * ((density * length * Math.Pow(speed, 2)) / (2 * hydraulicDiameter)));
}

public Double drag(Double speed)
{
    return dragRate * ((density * projectedArea * Math.Pow(speed,2))/2);
}

```

**Figura 7 Código das equações.**

#### **4. Resultados**

O túnel de vento é um equipamento para realização de teste aerodinâmicos, a teoria que permite a extração de dados que comprovam isso, é estudada na engenharia mecânica na disciplina de mecânica dos fluidos. Essa ferramenta é fisicamente um túnel que se divide em três partes: difusora área de teste e contração, onde um fluido percorre o túnel, na área de teste colide com um protótipo. Esse evento permite-se a retirada de informações como quanto o objeto exerce no vento uma resistência, logo quanto maior a resistência menor a sua aerodinâmica.

Ao fim do projeto temos um simulador de pré-operação que permite que o estudantes e engenharia mecânica entendam como é o funcionamento de túnel de vento. Nas imagens 31 e 32 temos a execução de um teste no simulador e o segundo feito no túnel de vento real

## 5. Conclusão

Neste trabalho foi apresentado o processo de elaboração do simulador de pré-operação do túnel de vento da UNESC.

O Simulador apresentou bons resultados, cumprindo o seu objetivo de se assemelhar ao túnel real, servindo como ferramenta para a compreensão de como é o funcionamento de um túnel de vento. E de como funcionam os processos físicos e matemáticos dentro do mesmo.

A percepção agora completa sobre o que se queria desenvolver um simulador, adquirida através destes estudos permitiu o desenvolvimento do túnel de vento de pré-operação.

Apesar da alta curva de aprendizado, pela necessidade de algumas habilidades que a longo do projeto foram ficando cada vez mais confortáveis. No princípio um empecilho foi o não domínio amplo no inglês, uma vez que a grande parte da documentação do túnel de vento está em arquivos da NASA.

No começo da implementação do projeto, na parte de importação dos objetos no motor gráfico demandou uma parte pequena de tempo do projeto, porém as implementações posteriores exigiram muito tempo, exemplos a implementação do giro do exaustor que não tinha um pivô centralizado, a tentativa de teste com fitas ao invés de fumaça entre outros foram atividades complicadas, porém sempre agregando conhecimento.

Com a realização do respectivo projeto foi possível atingir todas as metas propostas inicialmente, compreendendo o funcionamento de um túnel de vento, entendendo e utilizando o ambiente para desenvolvimento de jogos e simulação Unity. Aplicando os conhecimentos no túnel de vento, e criando-o em meio virtual e expondo visualmente resultados físicos que ocorreram no objeto estudado dentro dele. Realizando testes com o modelo e validando resultados gerados.

## Referencias

FREITAS, P. J. F. **Introdução à modelagem e simulação de sistemas: com aplicações em Arena.** Visual Books, 2001.

HALL, N. Wind Tunnel Index. 2015.

SCHRAMM, F.; FORMOSO, C. **Uso de simulação interativa visual no projeto de sistemas de produção de empreendimentos da construção civil.** 2007.

SCHRAMM, F. K.; FORMOSO, C. T. Uso de simulação interativa visual no projeto de sistemas de produção de empreendimentos da construção civil. **Proceedings of the III Encontro de Informação e Comunicação na Construção Civil,** 2007.

SENGE, P. M. **The fifth discipline fieldbook: Strategies and tools for building a learning organization.** Crown Business, 2014. ISBN 0804153167.

SINGH, C.; PODDAR, K. Implementation of a LabVIEW-based automated wind tunnel instrumentation system. 2008 Annual IEEE India Conference, 2008. 11-13 Dec. 2008. p.103-108.

UNESC. Túnel de Vento: Equipamento inovador e único no sul do Estado é inaugurado na Unesc. Santa Catarina, 2017.

UZUELI, A. G.; SHIMOMURA, A. R. P.; DUARTE, D. **Túnel de Vento da FAUUSP- Instrumento para ensaios de modelos físicos em conforto ambiental:** Universidade de São Paulo-Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, São Paulo 2008.